



ines
INSTITUT NATIONAL
DE L'ENERGIE SOLAIRE

Donia Marzougui donia.marzougui@ines-solaire.org
Maxime Vallin maxime.vallin@ines-solaire.org

Plateforme Formation & Evaluation INES -

Campagne de mesures des performances des installations photovoltaïques en Tunisie



Equipe de travail



Objectif

Evaluer la performance des installations photovoltaïques sur le territoire tunisien :

130 installations auditées parmi 13000 raccordées au réseau fin 2016



- Echantillonnage
- Résultats de la campagne de mesures
- Questionnaire clients
- Points de vigilance et recommandations

➤ Echantillonnage

* Etapes

- * Analyse du parc actuel
- * Critères de sélection
- * Programme des visites
- * Résultats d'échantillonnage

➤ Résultats de la campagne de mesures

➤ Questionnaire clients

➤ Points de vigilance et recommandations

Etapes

- * Analyser l'état actuel de mise en œuvre de l'ensemble des installations PV existantes
- * Sélectionner un échantillon représentatif du parc
- * Auditer l'échantillon sélectionné
- * Analyser les résultats
- * Proposer des mécanismes pour améliorer la qualité et maintenir les performances des installations existantes
- * Elaborer des recommandations pour un concept de service après-vente.

Données transmises par l'ANME

Installateur	District	Client	CITE	Date de MES	Référence	Gouvernorat	Puissance (kWc)
			AOUINA	16/01/2016	215106720	TUNIS	2,0
			LES BERGES DU LAC	07/04/2016	5632290	TUNIS	2,0
			CARTHAGE BYRSA	21/04/2016	217777630	TUNIS	2,0

Etapes

- * Analyser l'état actuel de mise en œuvre de l'ensemble des installations PV existantes
- * Sélectionner un échantillon représentatif du parc
- * Auditer l'échantillon sélectionné
- * Analyser les résultats
- * Proposer des mécanismes pour améliorer la qualité et maintenir les performances des installations existantes
- * Elaborer des recommandations pour un concept de service après-vente.

Données transmises par l'ANME

Critères de sélection

Installateur	District	Client	Résidentiel/industriel	CITE	Date de MES	Référence	Gouvernorat	Puissance (kWc)	Zone	Première installation	Dernière installation	Première installation et à >10kWc	Installation >10kWc	Installation à Pc<=2kWc	Petit installateur (<50 installations)	Installateur présent sur plus du 1/5 du territoire	Installateur présent uniquement dans ce gouvernorat	Commentaire (où voir l'installateur)	Installation à moins de 1 km du bord de mer	Total
		TOU	Résidentiel	AOUINA	16/01/2016	215106720	TUNIS	2,0	Z2	0	1	0	0	1	1	0	1			4
		MED	Résidentiel	LES BERGES DU LAC	07/04/2016	5632290	TUNIS	2,0	Z2	0	1	0	0	1	1	0	1		*	4
		TRAD	Résidentiel	CARTHAG E BYRSA	21/04/2016	217777630	TUNIS	2,0	Z2	0	1	0	0	1	1	0	1			4

Etapes

- * Analyser l'état actuel de mise en œuvre de l'ensemble des installations PV existantes
- * Sélectionner un échantillon représentatif du parc
- * Auditer l'échantillon sélectionné
- * Analyser les résultats
- * Proposer des mécanismes pour améliorer la qualité et maintenir les performances des installations existantes
- * Elaborer des recommandations pour un concept de service après-vente.

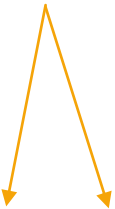
Etapes

- * Analyser l'état actuel de mise en œuvre de l'ensemble des installations PV existantes
- * Sélectionner un échantillon représentatif du parc
- * Auditer l'échantillon sélectionné
- * Analyser les résultats
- * Proposer des mécanismes pour améliorer la qualité et maintenir les performances des installations existantes
- * Elaborer des recommandations pour un concept de service après-vente.

Rendement global
d'installation

Qualité des cellules PV

Calcul du productible



$$PR = \frac{Pac\ onduteur}{Pc\ champ\ PV}$$

Détermination du Facteur de Forme
constructeur

$$FF = \frac{Umpp * Impp}{Uoc * Icc}$$

Igp (W/m²)	T° °C	Inclinai on (°)	Azimuth (°)	FF	Pdc Trika (STC)	Pac inst (W)	Nm / chai ne	Nc	Marque Module	Référenc Module	Origin e	Pc (Wc)	Umpp (V)	Impp (A)	Voc (V)	Icc (A)	Marque Onduleur	230/400	Référenc e Onduleur	Pn (W)	Umpt min (V) DC	Umpt max (V) DC	Imax (A) DC
---------------	----------	--------------------	----------------	----	-----------------------	-----------------	--------------------	----	------------------	--------------------	-------------	------------	-------------	-------------	------------	------------	--------------------	---------	---------------------------	--------	-----------------------	-----------------------	----------------

Mesures du traceur
de courbe I(V)

Données modules

Données Onduleur

E injectée + (E produite – E soutirée)

$$TAC = \frac{Prod - Export}{Prod}$$

Productibilité Pvgis (kWh/kWc)	Performance énergétique (kWh/kWc)	Commentaire	Energie Pvgis (kWh)	Energie Pvgis (kWh/an)	Energie produite kWh	Energie produite annuelle (kWh/an)	Δenergie réelle/PVgis (%)	Nbre d'heures de fonctionnement	Energie injectée (kWh)	Energie soutirée (kWh)	Energie totale consommée (kWh)	Energie consommée mensuelle (kWh/mois)	Autoconsommation
--------------------------------	-----------------------------------	-------------	---------------------	------------------------	----------------------	------------------------------------	---------------------------	---------------------------------	------------------------	------------------------	--------------------------------	--	------------------

Etude énergétique: réel vs les simulations PVGIS

Inv HT (DT)	Sub (DT)	Inv (DT/kWc)	Sub (DT/Wc)	Sub (%)	Inv après sub	Coût du Wc après sub (DT/kWc)	Tarif kWh solaire (DT/kWh)	TRB hors sub	TRB avec Sub	TRB Theorique Hors sub Avec Sub	ka (t =3,7% et n=30ans)	TEC	Prix du revient du kWh (DT/kWh)
-------------	----------	-----------------	----------------	---------	------------------	-------------------------------------	----------------------------------	-----------------	-----------------	---	----------------------------	-----	---------------------------------------

Etude économique

Rentabilité des
installations

Ph1	Ph2	Ph3	U12	U23	U31	V1t	V2t	V3t	Rt	Utn
------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	-----------	------------



Mesures de tension réseau

Bon raccordement réseau STEG				Respect couleurs câbles			Sens cablage disj/diff OK			Présence différentiel				Présence disjoncteur			Bonne realisation coffrets DC & AC				Bon serrage des borniers AC/DC			Bonne réalisation Terre / Structure				Boucle Induction champs PV			Présence Masque			Nettoyage régulier des modules			Propreté des modules le jour J			Présence dossier technique chez le client		
Bo n	Pas sab le	Ma uv ais	NC	Oui	No n	NC	Oui	No n	NC	No n	30 mA	30 0m A	NC	Oui	NO N	NC	Bo n	Pas sab le	Ma uva is	NC	Oui	Non	NC	Bo n	Pas sab le	Ma uva is	NC	Oui	Non	NC	Imp orta nt	Faib le	Auc un	Oui	Non	NC	Oui	Non	NC	Oui	Non	NC

Evaluation des défauts rencontrés

Etapes

- * Analyser l'état actuel de mise en œuvre de l'ensemble des installations PV existantes
- * Sélectionner un échantillon représentatif du parc
- * Auditer l'échantillon sélectionné
- * Analyser les résultats
- * Proposer des mécanismes pour améliorer la qualité et maintenir les performances des installations existantes
- * Elaborer des recommandations pour un concept de service après-vente.

Etapes

- * Analyser l'état actuel de mise en œuvre de l'ensemble des installations PV existantes
- * Sélectionner un échantillon représentatif du parc
- * Auditer l'échantillon sélectionné
- * Analyser les résultats
- * Proposer des mécanismes pour améliorer la qualité et maintenir les performances des installations existantes
- * Elaborer des recommandations pour un concept de service après-vente.

➤ Echantillonnage

- * Etapes
- * Analyse du parc actuel
- * Critères de sélection
- * Programme des visites
- * Résultats d'échantillonnage

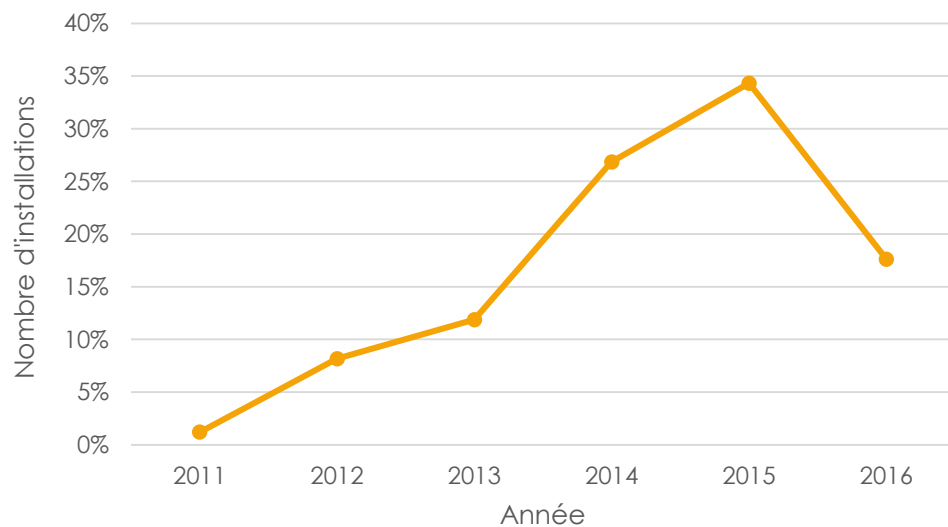
➤ Résultats de la campagne de mesures

➤ Questionnaire clients

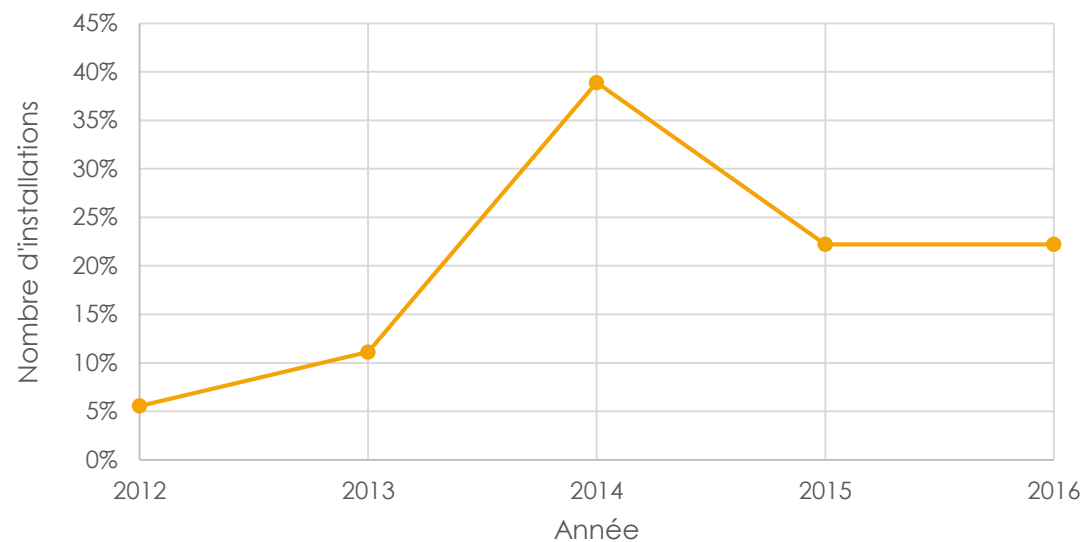
➤ Points de vigilance et recommandations

Analyse du parc actuel

Année de mise en service



Evolution des installations BT



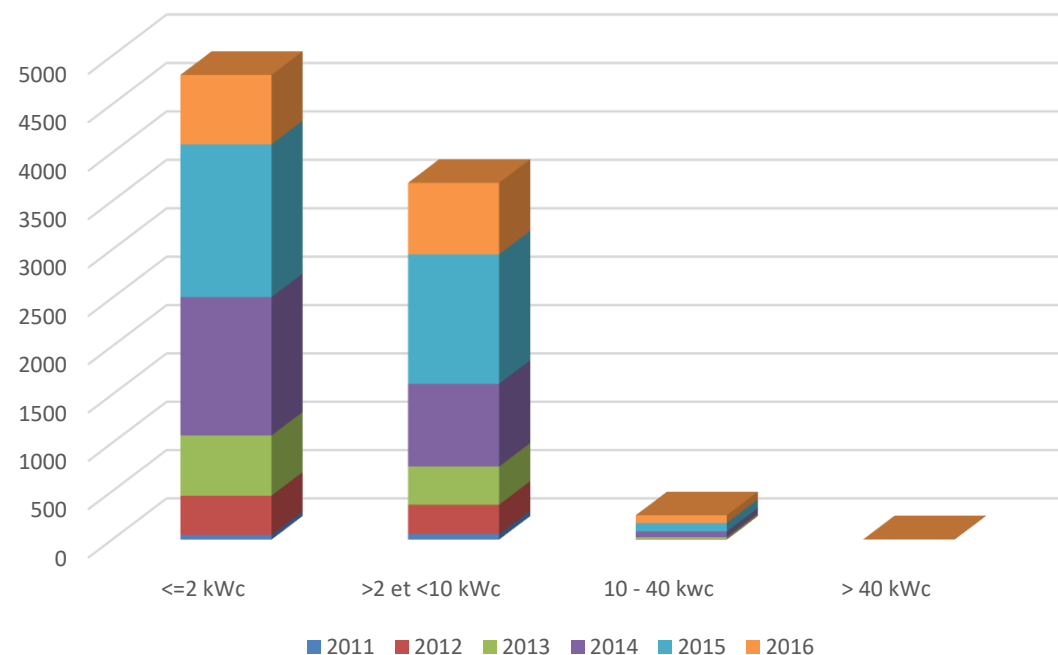
Evolution des installations MT

Analyse du parc actuel

Puissance raccordée

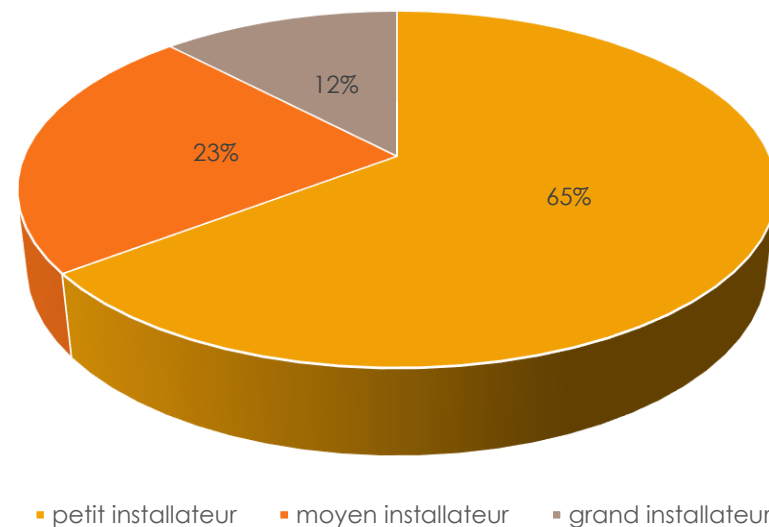
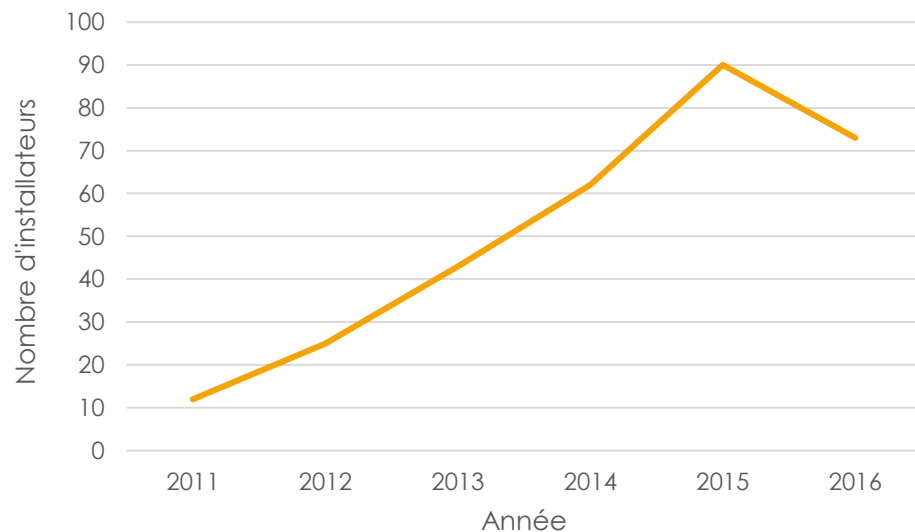
Puissance	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<=2 kWc	48	406	623	1432	1577	717
>2 et <10 kWc	57	304	395	856	1338	739
10 - 40 kWc	0	4	20	61	87	80
> 40 kWc	0	0	0	0	1	3

Total raccordé: 26,5 MWc en 2016



Analyse du parc actuel

Installateur

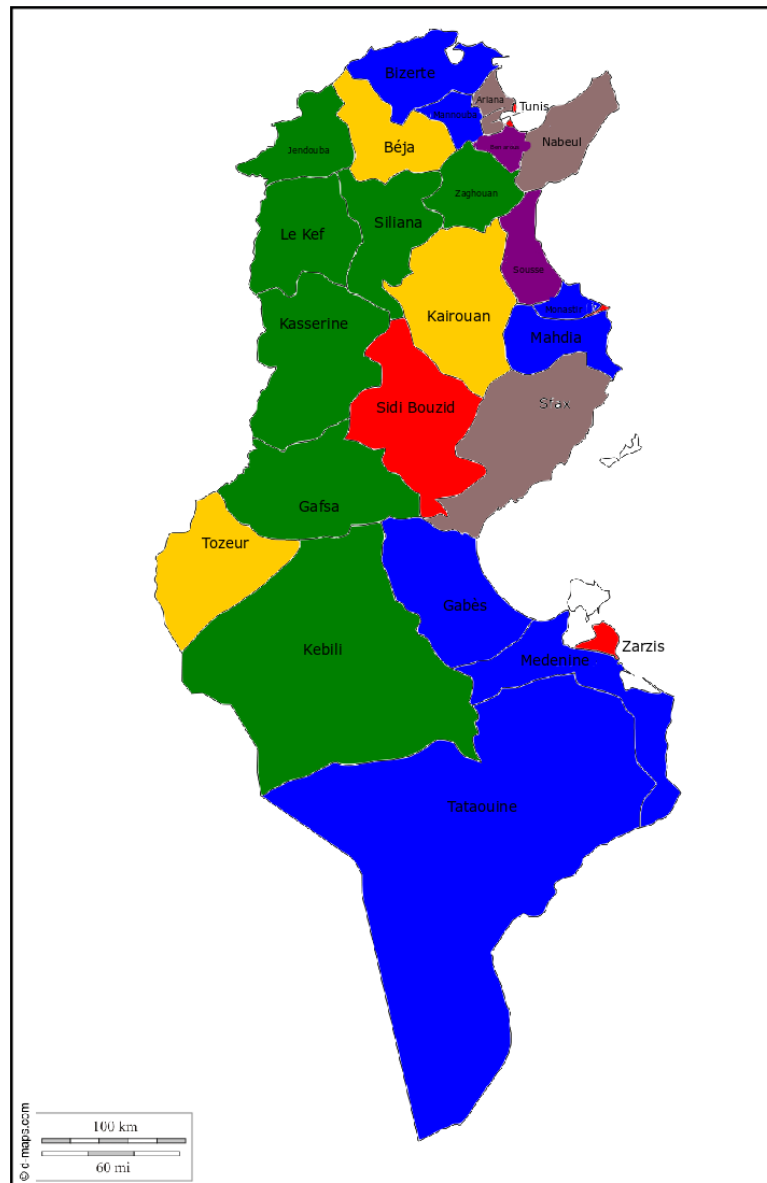


Petit installateur (nbre installations < 50)
Moyen installateur (nbre installations < 200)
Grand installateur (nbre installations > 200)

Analyse du parc actuel

Nombre d'installations

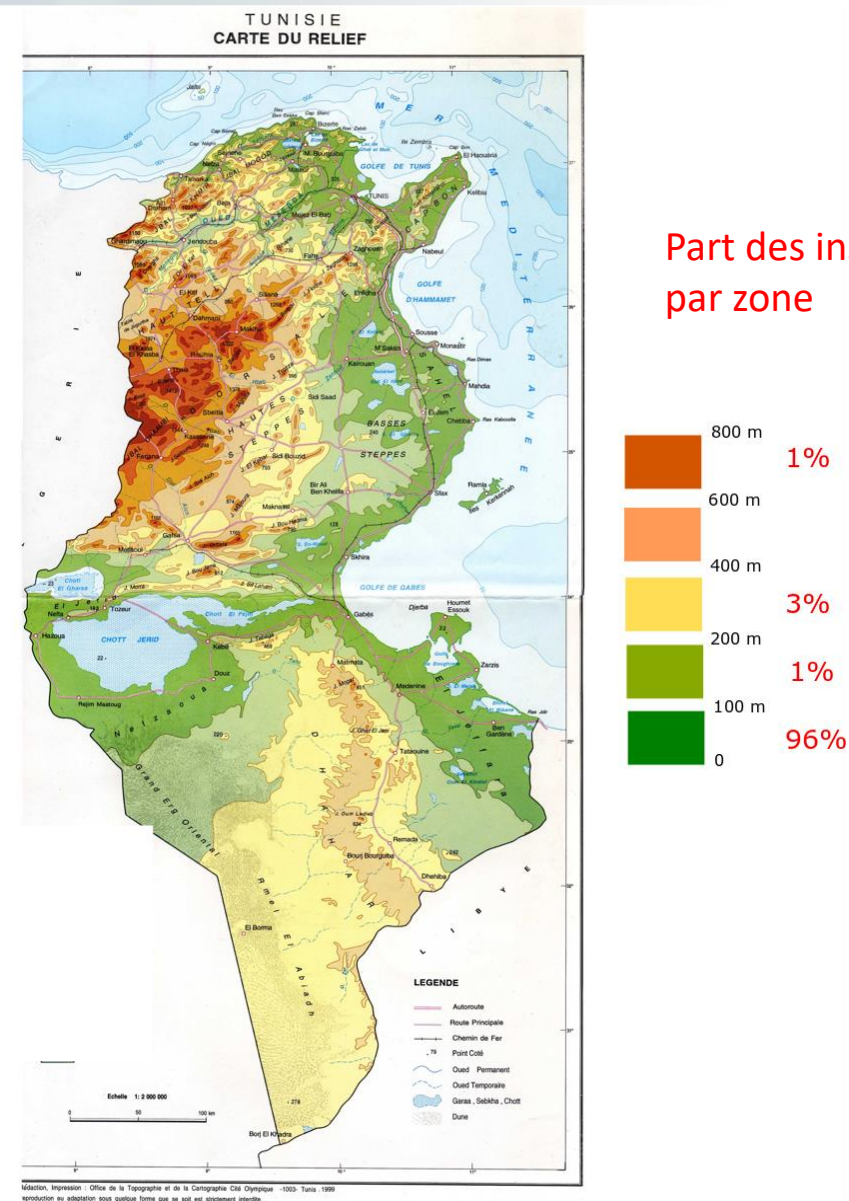
0 - 10
10 - 50
50 - 100
100 - 500
500 - 1000
>1000



Analyse du parc actuel

Facteurs climatiques

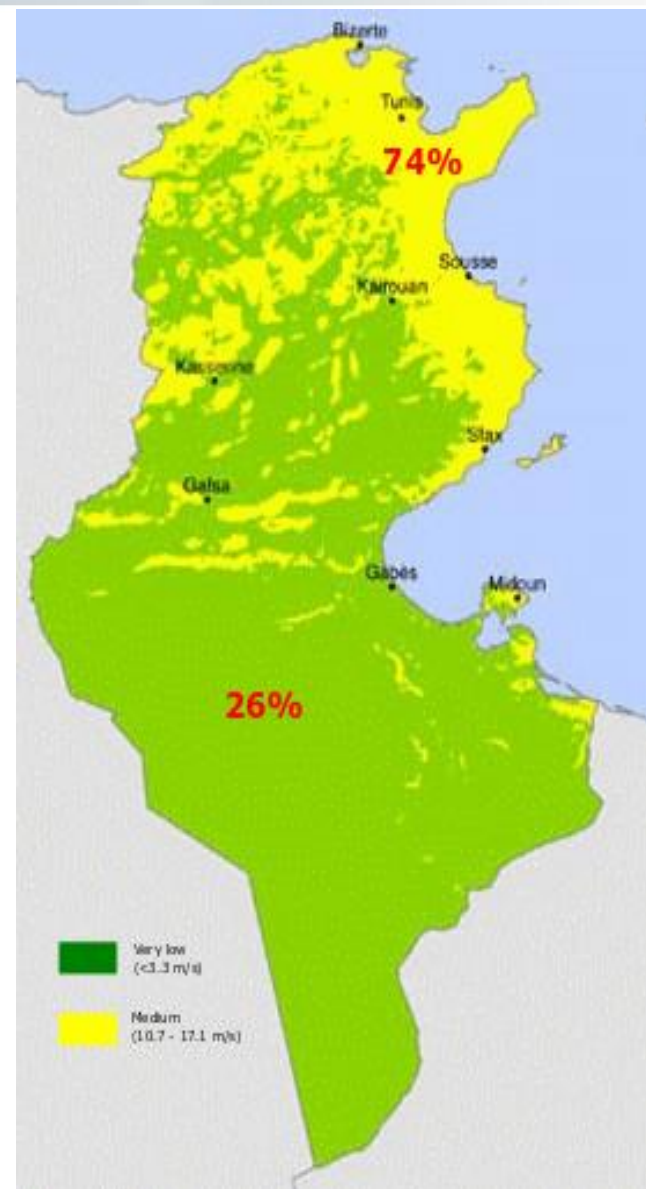
Le relief



Analyse du parc actuel

Facteurs climatiques

Le vent



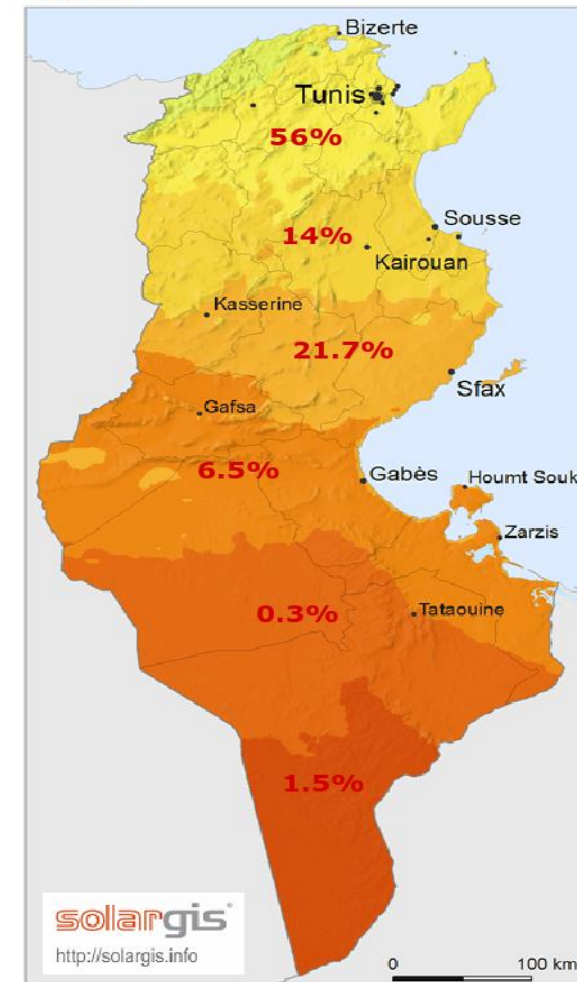
Part des installations
par zone

Analyse du parc actuel

Facteurs climatiques

L'irradiation solaire

Global Horizontal Irradiation (GHI) Tunisia



Average annual sum, period 1994-2010

< 1700 1850 2000 2150 > kWh/m²

GHI Solar Map © 2014 GeoModel Solar

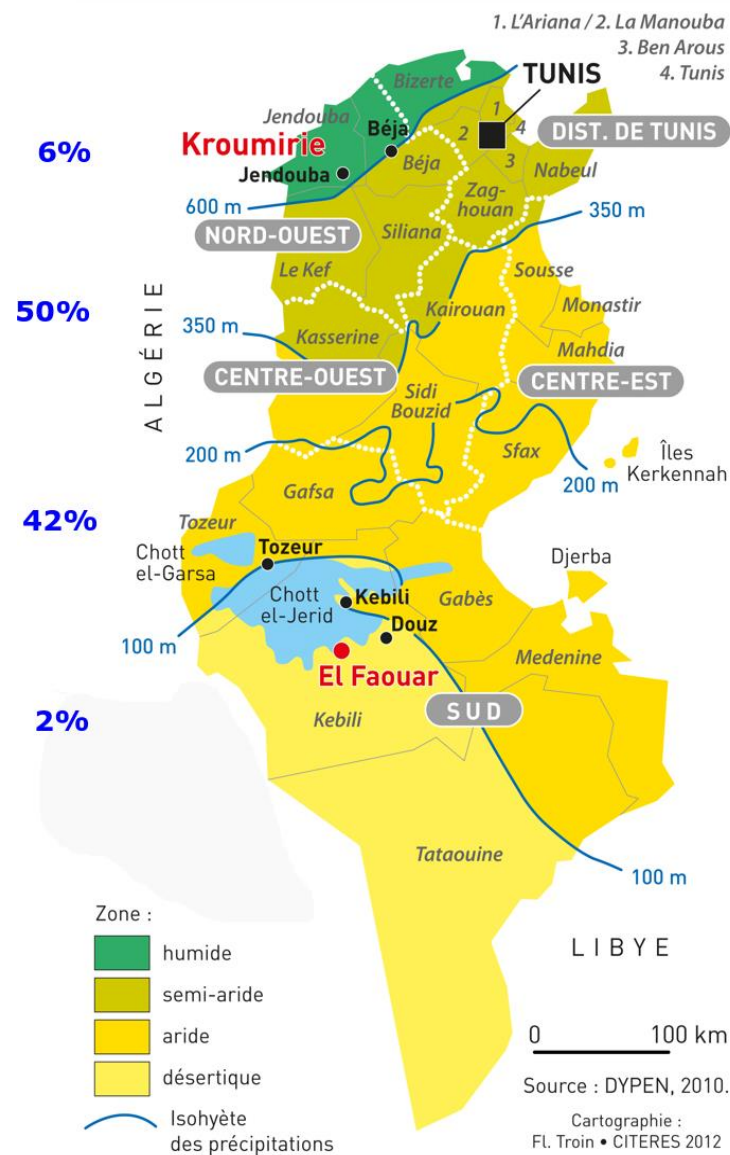
Part des installations
par zone

Analyse du parc actuel

Facteurs climatiques

L'humidité

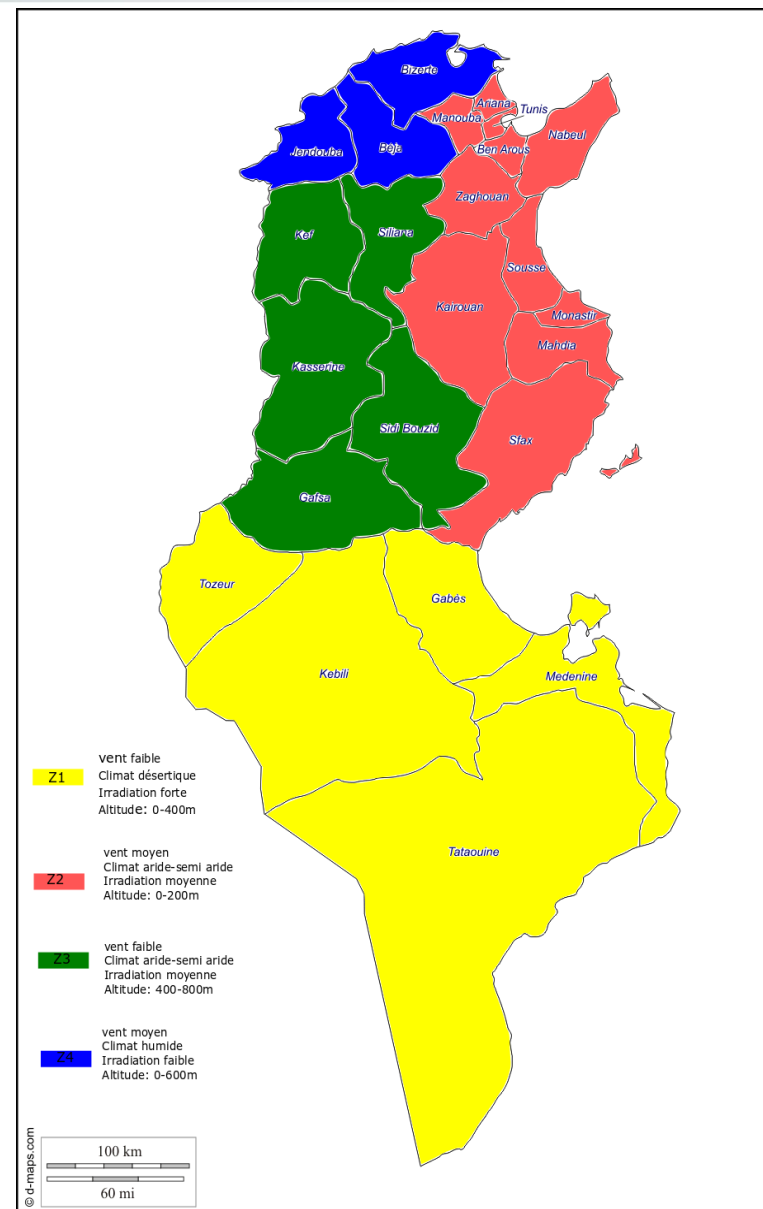
Part des installations
par zone



Analyse du parc actuel

Facteurs climatiques

Z1	Z2	Z3	Z4
Vent faible Climat désertique Irradiation forte Altitude 0-400 m	Vent moyen Climat semi-aride Irradiation moyenne Altitude à-200 m	Vent faible Climat aride Irradiation moyenne Altitude 400-800 m	Vent moyen Climat humide Irradiation faible Altitude 0-600 m



➤ Echantillonnage

- * Etapes
- * Analyse du parc actuel
- * Critères de sélection
- * Programme des visites
- * Résultats d'échantillonnage

➤ Résultats de la campagne de mesures

➤ Questionnaire clients

➤ Points de vigilance et recommandations

Critères de sélection

N° visite	Installateur	Age (an)	Référence	Gouvernorat	Puissance (kWc)	Zone	Première installation	Dernière installation	Première installation et $P_c > 10 \text{ kWc}$	Installation à $P_c > 10 \text{ kWc}$	Installation à $P_c \leq 2 \text{ kWc}$	Petit installateur (<50 installations)	Installateur présent sur plus du 1/5 du territoire	Installateur présent uniquement dans ce gouvernorat	Installation à moins de 1 km du bord de mer)
-----------	--------------	----------	-----------	-------------	-----------------	------	-----------------------	-----------------------	---	---------------------------------------	---	--	--	---	--



Evaluer
l'évolution de
la prestation



Evaluer
l'adaptation aux
différents climats

Critères de sélection

Données					Critères de sélection											Total
Fournisseur	Réf STEG	Gouvernorat	PUissance	année MES	Zone	première installation	dernière installation	première installation et à plus de 2 branches (>10 kWc)	installation à plus de 2 branches (>10 kWc)	installation à Pc <= 2 kWc	petit installateur (<50 installations)	installateur présent sur plus du 1/5 du territoire	installateur présent uniquement dans ce gouvernorat	commentaire (où voir l'installateur)	installation à moins de 1 km du bord de mer	
SOLAIRE PLUS	31693 430 0	NABEUL	13,0	2015	Z2	1	0	1	1	0	1	1	1	1 à voir à Nabeul		6
GREENSYS	337206160	NABEUL	10,0	2015	Z2	1	0	1	1	0	1	0	0	1 à voir à nabeul		5
SOLAIRE PLUS	155817401	ARIANA	15,0	2015	Z2	1	0	1	1	0	1	1	0			5
SOLAIRE PLUS	1121535	TUNIS	12,0	2015	Z2	1	0	1	1	0	1	1	0			5
TUNCOM	906345111	TOZEUR	11,5	2014	Z1	1	0	1	1	0	1	0	0			4
MES ENERGIE ET SECURITE	164664200	ARIANA	10,0	2015	Z2	1	0	1	1	0	0	0	0			3
EIM	162012510	ARIANA	2,0	2015	Z2	1	1	0	0	1	1	0	1			5
EIM	176387600	ARIANA	2,0	2015	Z2	1	1	0	0	1	1	0	1			5
EIM	177671460	ARIANA	2,0	2015	Z2	1	1	0	0	1	1	0	1			5
EIM	204274801	ARIANA	1,0	2015	Z2	1	1	0	0	1	1	0	1			5
EIM	230143600	BEN AROUS	2,0	2015	Z2	1	1	0	0	1	1	0	1			5



130 installations sélectionnées réparties dans tout le territoire tunisien

- Introduction
- Echantillonnage
 - * Etapes
 - * Analyse du parc actuel
 - * Critères de sélection
 - * Programme des visites
 - * Résultats d'échantillonnage
- Résultats de la campagne de mesures
- Questionnaire clients
- Points de vigilance et recommandations

5 semaines d'audit

15/01/2018

Au

09/02/2018

26/02/2018

Au

02/03/2018

Gouvernorat	Date	Nombre de jours	Nombre d'installations	Type d'installation
Tunis	15/01/2018-17/01/2018 26/01/2018	4	21	BT
Ariana	26/02/2018-27/02/2018 02/03/2018	3	17	BT
Ben Arous	28/02/2018	1	7	BT
Zaghouan	09/02/2018	0.5	1	BT
Béja	18/01/2018	1	5	BT
Le Kef	19/01/2018	1	5	BT
Bizerte	22/01/2018	1	6	BT
Nabeul	23/01/2018-24/01/2018 01/03/2018	3	18	BT
Sousse	25/01/2018	1	5	BT
Kairouan	29/01/2018	1	6	BT
Sfax	30-01/2018-31/01/2018	2	7	MT
Gabès	01/02/2018 05/02/2018	2	11	BT
Médenine	02/02/2018	1	5	BT
Kebili	06/02/2018	1	5	BT
Tozeur	07/02/2018-08/02/2018	2	10	BT
Gafsa	09/02/2018	0.5	1	BT

<https://www.google.com/maps/d/edit?hl=fr&mid=1agbszdo0zsRWZZJYkHBr3rrgGNGdVme-&ll=35.64883697919634%2C8.718425593749998&z=8>



➤ Echantillonnage

- * Etapes
- * Analyse du parc actuel
- * Critères de sélection
- * Programme des visites
- * Résultats d'échantillonnage

➤ Résultats de la campagne de mesures

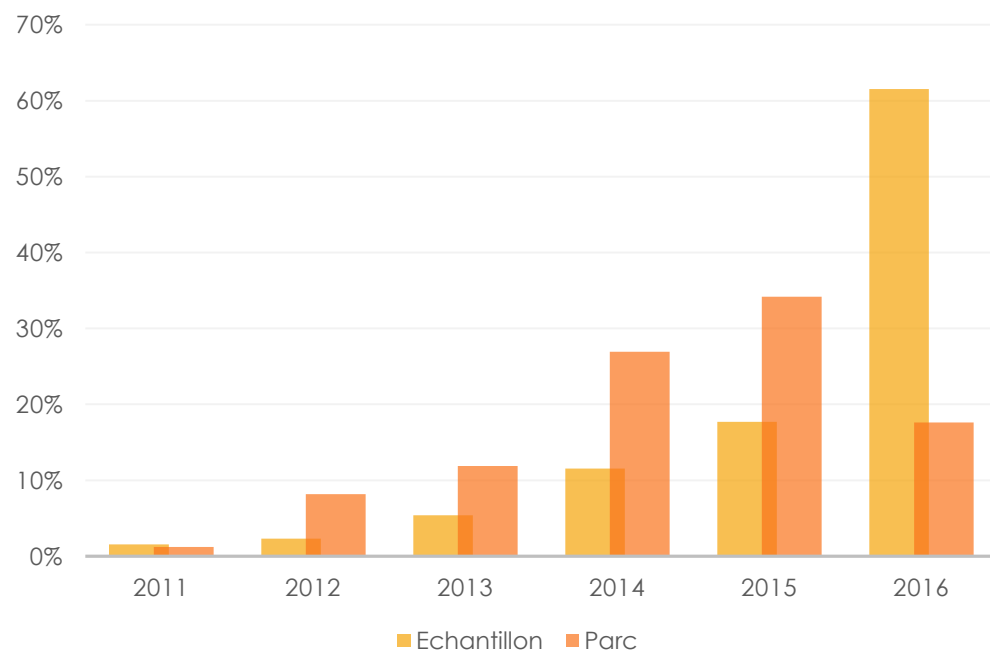
➤ Questionnaire clients

➤ Points de vigilance et recommandations

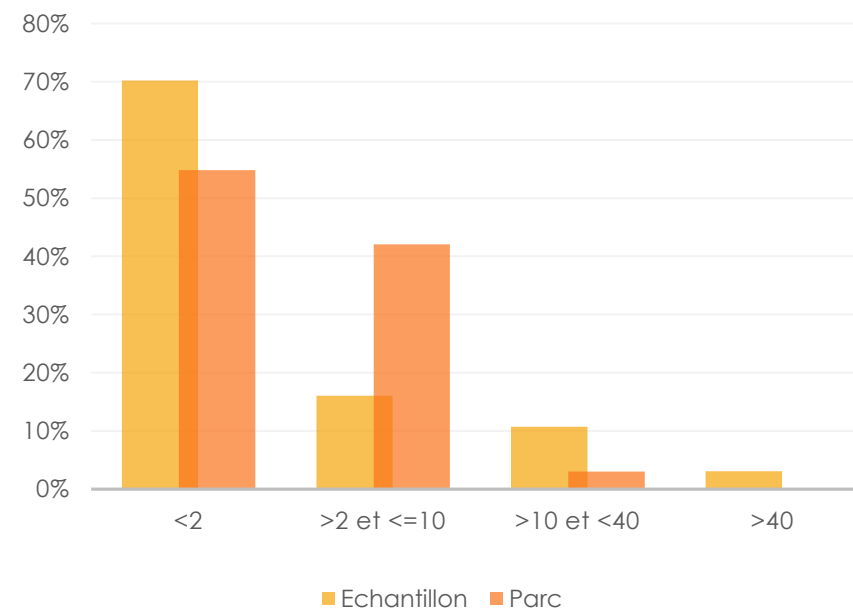
Nombre d'installations	131
Puissance totale (kWc)	900
Age moyen (an)	2.3
Production totale (MWh)	2780
Nombre de kilomètres (km)	~10000
Nombre de gouvernorats	16
Nombre d'installateurs	46



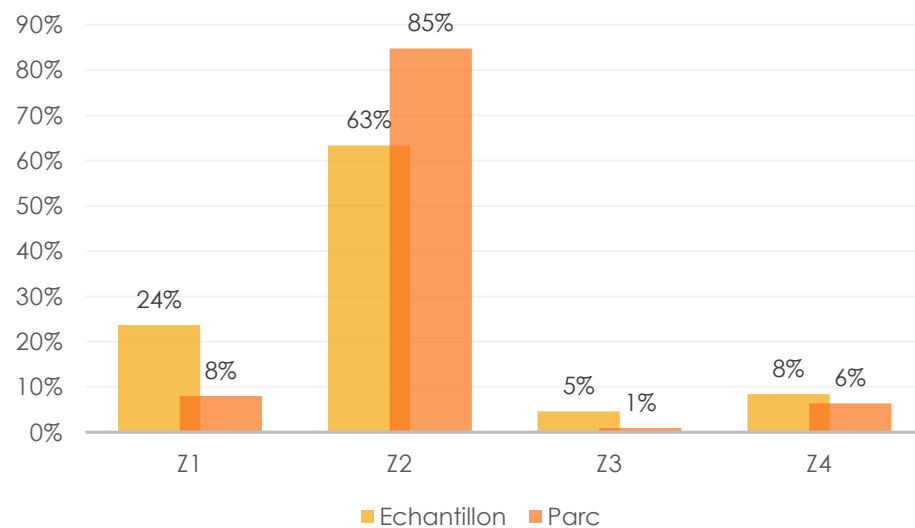
Année de mise en service



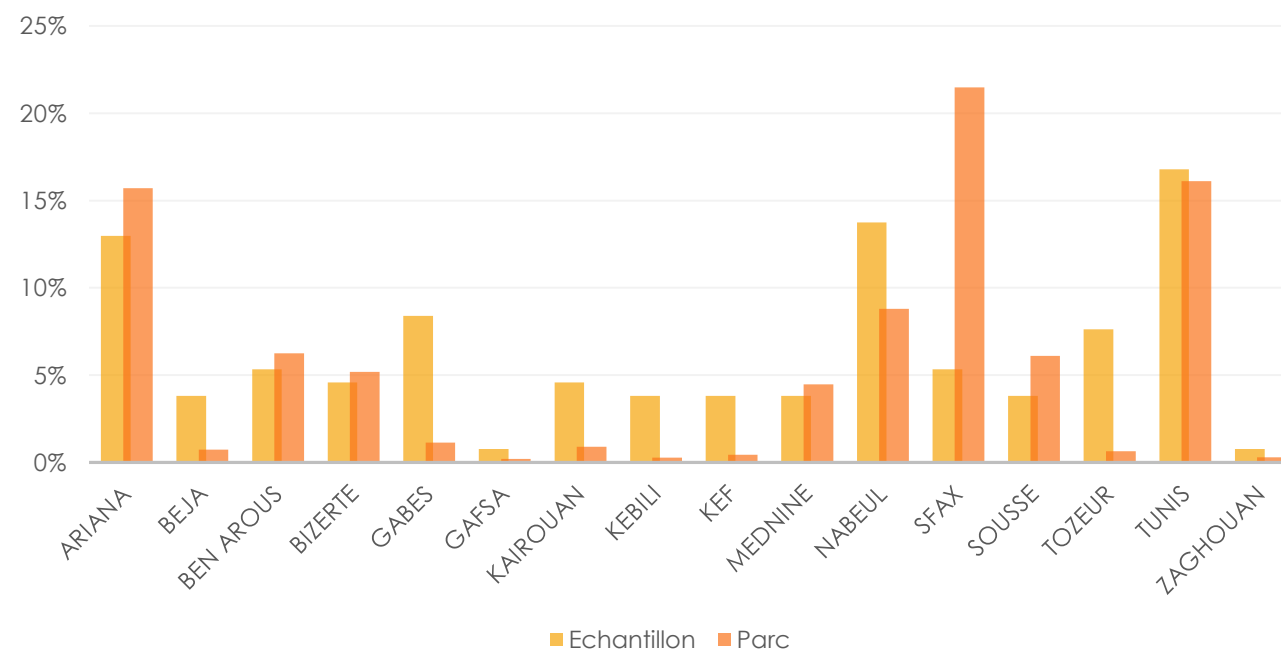
Puissance crête



Zone d'implantation



Gouvernorat visité



- Echantillonnage
- Résultats de la campagne de mesures
 - * Cadre technique et législatif
 - * Points de contrôle et de mesures
 - * Performance énergétique
 - * Rentabilité économique
- Questionnaire clients
- Points de vigilance et recommandations
- Conclusion

En cours de publication...
Un document de travail lors de nos audits.
Aborde des problématiques concrètes avec des
simplifications pratiques au niveau électrique.
Certains points restent néanmoins à approfondir.



- Echantillonnage
- Résultats de la campagne de mesures
 - * Cadre technique et législatif
 - * Points de contrôle et de mesures
 - * Performance énergétique
 - * Rentabilité économique
- Questionnaire clients
- Points de vigilance et recommandations

Modules et structure

Onduleur

Coffrets DC AC

Réseau

ines		MISSION D'EXPERTISE 2018 D'INSTALLATIONS PV TUNISIENNES				giz		International Services	
N° VISITE		N° SETEG		DATE	__/__/__	DEBUT	__H	FIN	__H
GPS	__° __' __" N		__° __' __" E	GOOGLEMAP via SMARTPHONE		OUI		NON	
PHOTO DU SITE		REMARQUE							
Nbre TOTAL MODULE		Pac TOTALE		REMARQUE					
PHOTO TOITURE PV & FICHE MOD.				PRESENCE DEFECT SUR MODULES PV		OUI		NON	
BONNE CONCEPTION STRUCTURE PV	OUI		NON	PROPRETE MODULES PV		OUI		NON	
BONNE FIXATION MODULES PV	OUI		NON	NETTOYAGE REGULIER MODULE		OUI		NON	
BON ETAT Cables PV & Connecteur & JB	OUI		NON	PHOTOGRAPHIE THERMIQUE Module, Connecteur & JB					
CONTRÔLE ESPACE ENTRE RANGEES PV	H: m D: m			CONFORMITE / BOUCLE INDUCTION		OUI		NON	
REMARQUE / LEST				REMARQUE					
METEO					Azimuth		Temp ext	↓	°C
RELEVÉ MASQUE		OUI		NON	REMARQUE Proche & Loin				
CAPTEUR TRI-KA		OUI		NON	CAPTEUR TRI-KA			INCLINAISON	°
CAPTEUR TRI-KA		OUI		NON	CAPTEUR TRI-KA			Temp Cell	°C
Nbre TOTAL ONDULEUR		Pac TOTALE		REMARQUE					
PHOTO LOCAL OND. & FICHE OND.				ARRÊT/PANNE/REMPLACEMENT		OUI		NON	
OND. N°1 CONFORME & FONCTIONNEL	OUI		NON	OND. N°2 CONFORME & FONCTIONNEL		OUI		NON	
Pac instant.		REMARQUE / ERREURS / EVENEMENTS			Pac instant.		REMARQUE / ERREURS / EVENEMENTS		
Heures fonct.					Heures fonct.				
Prod. Tot. kWh		CHAÎNE N°1	CHAÎNE N°2	CHAÎNE N°3	Prod. Tot. kWh		CHAÎNE N°1	CHAÎNE N°2	CHAÎNE N°3
Nbre MODULE / Chaîne					Nbre MODULE / Chaîne				
Pac instantanée / Chaîne					Pac instantanée / Chaîne				
MISE HORS SERVICE DE L'INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE (AC puis DC)									
MESURE I(V) TRI-KA / OND. N°1		OUI		NON	MESURE I(V) TRI-KA / OND. N°2		OUI		NON
REMARQUE				REMARQUE					
COFFRET DC CONFORME & FONCTIONNEL	OUI		NON	COFFRET AC CONFORME & FONCTIONNEL		OUI		NON	
BORNIERS & CONNECTEURS SERRES	OUI		NON	BORNIERS & CONNECTEURS SERRES		OUI		NON	
BON ETAT FUSIBLES & PARAFODRES DC	OUI		NON	BON ETAT FUSIBLES & PARAFODRES AC		OUI		NON	
PHOTOGRAPHIE THERMIQUE COFFRET DC					PHOTOGRAPHIE THERMIQUE COFFRET AC				
REMARQUE									
COMPTÉUR ELECTRIQUE	ENERGIE CONSOMMEE E+/0/1-50 (kWh)				ENERGIE INJECTEE E-/-2-50 (kWh)				
ANALYSE DU RESEAU	L1/N (V)		L1 / T (V)		T/N (V)		L1 / L2 (V)		
	L2/N (V)		L2 / T (V)		RT (Ohm)		L2 / L3 (V)		
	L3/N (V)		L3 / T (V)		REMARQUE		L3 / L1 (V)		
CONFORMITE ARRIVEE RESEAU	OUI		NON	INVERSION / ORDRE DES PHASES		OUI		NON	
CONFORMITE CABLAGE DIFFERENTIEL	OUI		NON	PIQUET TERRE		Alu	Cuivre	Galva	
REMARQUE									
REMISE EN SERVICE DE L'INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE (DC puis AC)									
QUESTIONNAIRE CLIENT REMPLI	OUI		NON	CONTACT & DOCUMENTS TECHNIQUES DU CLIENT					
REMARQUE / CLIENT									
DISTRIBUTION FLYER BDPV	OUI		NON	CONTACT DE L'INSTALLATEUR					
REMARQUE / INSTALLATEUR									

► Structure

Structure

- Matériaux
 - Acier galvanisé ++ Rigidité
 - Aluminium ++ bord de mer
 - Acier +
 - Section OK ++
- Visserie
 - Inox ++
 - Soudage ++
 - Electrozingué - - Corrosion
- Résistance au vent
 - Qualité Lest +
 - Dimensionnement - -
 - Haubanage +
 - Point d'encrage -



Tout tient avec des vis, mais les vis tiennent-elles?



► Résistance au vent

Un Lest approximatif

- ▶ Résistance au vent, une étude et dimensionnement difficile !
 - ▶ Selon le site
 - ▶ Selon l'environnement
 - ▶ Selon la hauteur du bâtiment
 - ▶ Selon la position des capteurs sur la toiture
- ▶ Le référentiel doit apporter des réponses simple aux cas les plus courants (Ce besoin et loin d'être traité) **contre les risques de:**
 - ▶ glissement,
 - ▶ soulèvement
 - ▶ retournement
- ▶ Les élingues et haubanages sont des sécurités efficaces

Lest et Haubanage



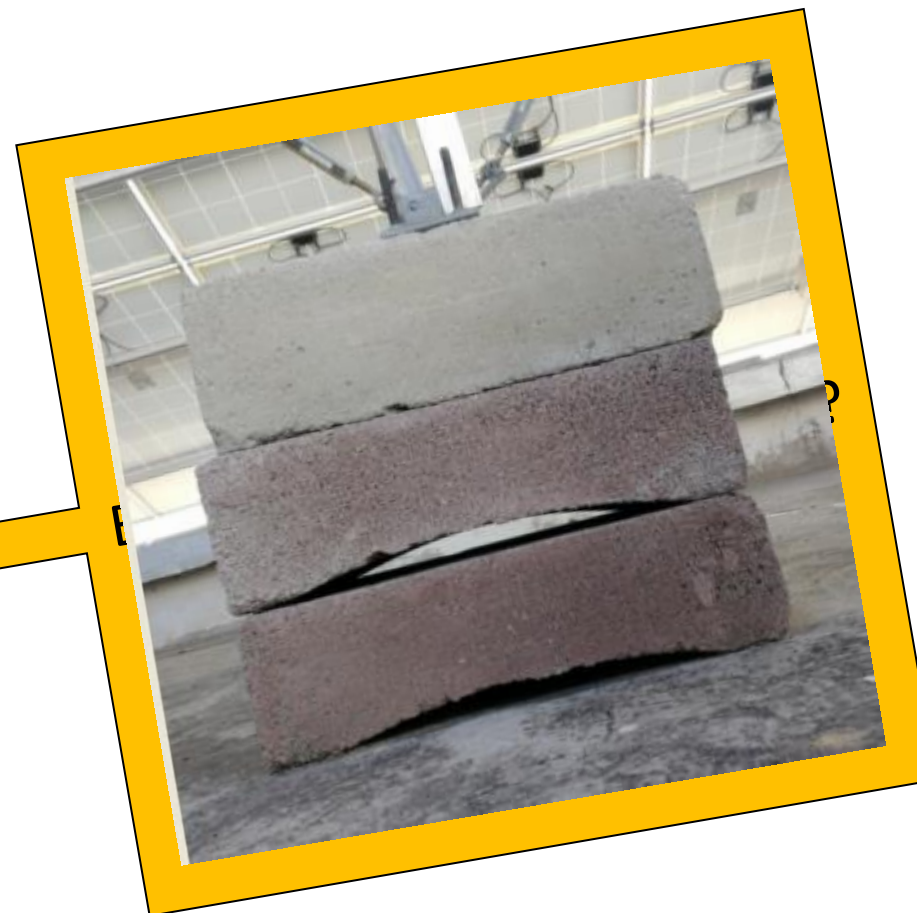
Vent à 100km/h = 70daN/m² Force



Glissement

120kg





Lest et étanchéité

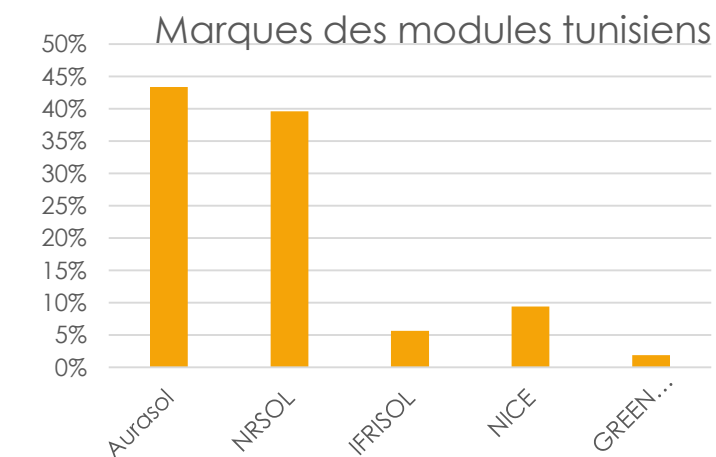
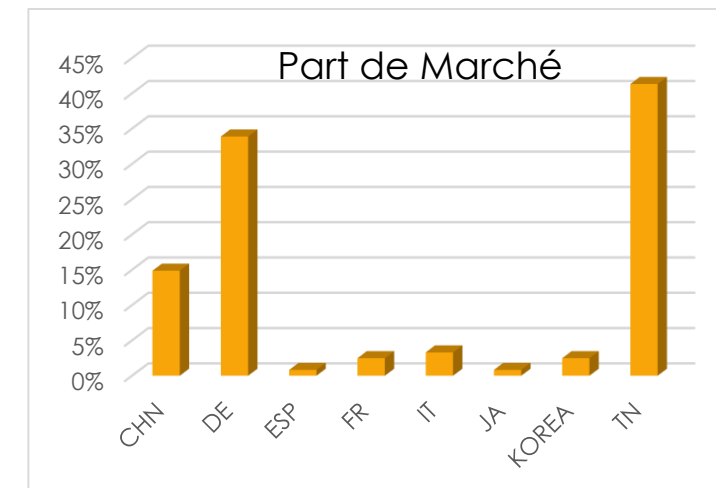


▶ Installation PV

- ▶ Module
- ▶ Onduleur
- ▶ Coffret

Modules

- **Qualité**
 - **Module très irrégulier chez certains équipementiers Tunisiens.**
 - Importation OK
- **Techno**
 - Mono
 - Polycristallin
- **Provenance**
 - Tunisie 40%,
 - Allemagne 34%,
 - Chine 15%
 - Autres 11%
- **Mise en œuvre**
 - Bonne dans l'ensemble
 - Ombrage proche
 - Boucle d'induction
 - Liaison de terminaison incertaine



Modules de fabrication tunisienne - défauts



FIGURE 1: BULLES D'AIR A L'ENCAPSULATION

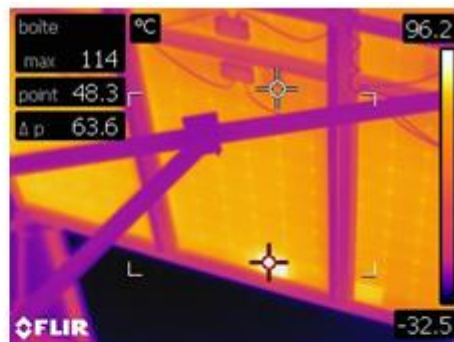


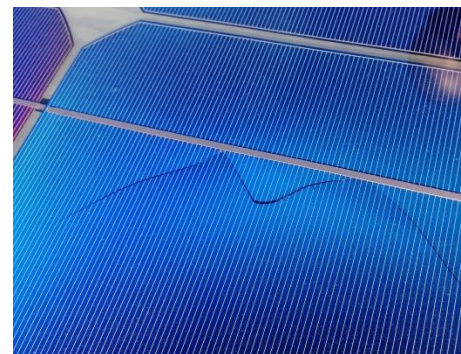
FIGURE 3: ECHAUFFEMENT D'UNE CELLULE RESISTIVE
(100°C AU LIEU DE 35°C POUR LE RESTE DU MODULE)



FIGURE 2: DELAMINATION



FIGURE 4: DEFAT DE QUALITE SUR LA POSE DES BUS
BARS



➤ Mise en œuvre: attention avec la visseuse!



Onduleur

- **Appareil performant et fiable, bon fonctionnement RAS**
- Mise en œuvre
 - Bonne dans l'ensemble
 - Attention à l'exposition direct au soleil
 - Sertissage des connecteurs défectueux
 - Esthétique (enlever le plastique de protection)
 - Protection des personnes
- Reporting
 - Aucun, ou si peu !
 - Méconnaissance, méfiance performance installation, perte de production



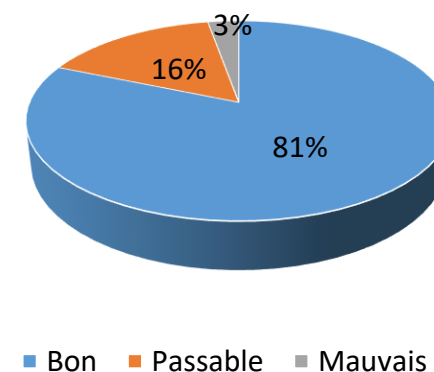
Figure 40: emplacement à éviter (onduleur, coffrets et gaines en plein soleil)



Coffrets DC/AC

- **Exemplaire par rapport à l'électricité du bâtiment !**
- Matériel
 - Qualité élevée
 - Quantité excessive !
 - Parafoudre discutable
 - Fusible pour 1 ou 2 chaînes inutile ✗
- Mise en œuvre
 - Attention au respect des couleurs
 - Respecter le sens de câblage
 - Connecteur liaison champ inexistante ou défaillante (sertissage) ✗
- Connexion
 - Embouts non adaptés aux câbles solaires (double isolation)
 - Dérivation parafoudre défaillante
 - Sertissage cosse, embout, connecteur sans outil adapté
 - Privilégier serrage par ressort au serrage à vis
 - Serrage à vis : RE-serrage indispensable

Bonne réalisation des coffrets DC/AC

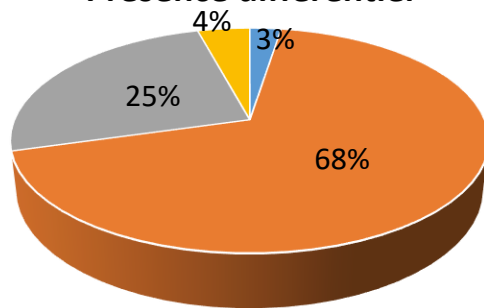


Qualité des installations photovoltaïques



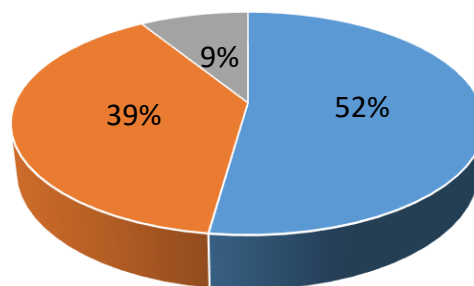
Erreurs fréquentes, pas de différentiel ou mauvais câblage

Présence différentiel

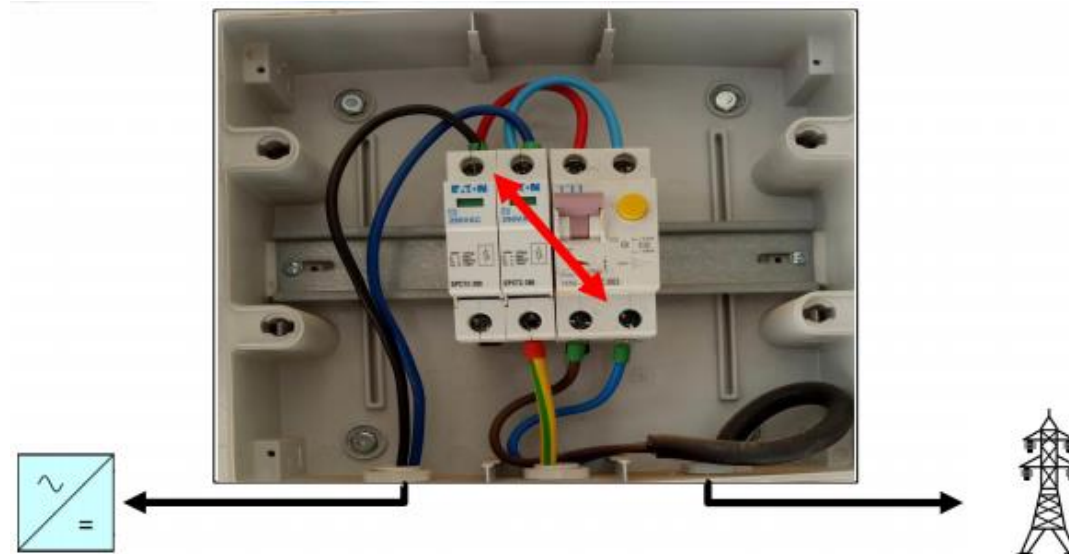


■ Non ■ 30 mA ■ 300 mA ■ NC

Sens câblage diff/disj correct



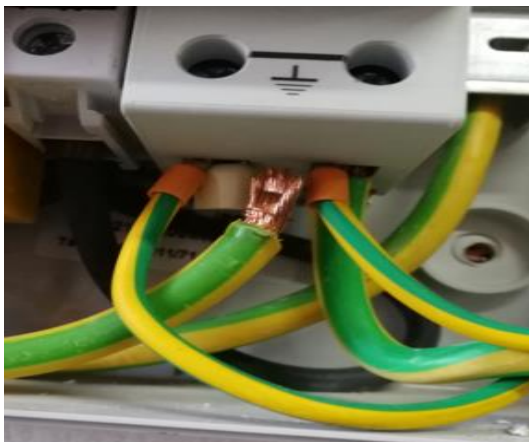
■ Oui ■ Non ■ NC



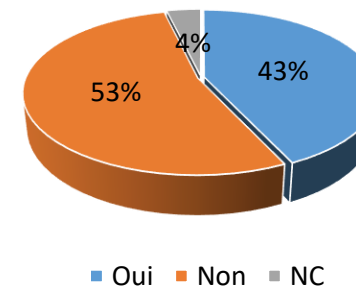
La règle d'usage veut des câbles hors tension en aval d'un disjoncteur lorsque celui-ci est ouvert.

Ici la personne risque l'électrocution au contact direct du réseau STEG.

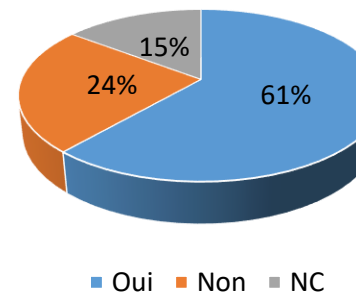
Connexions: embouts et dérivation



Bon serrage des borniers



Respect couleurs câbles AC



► Connecteur et sertissage

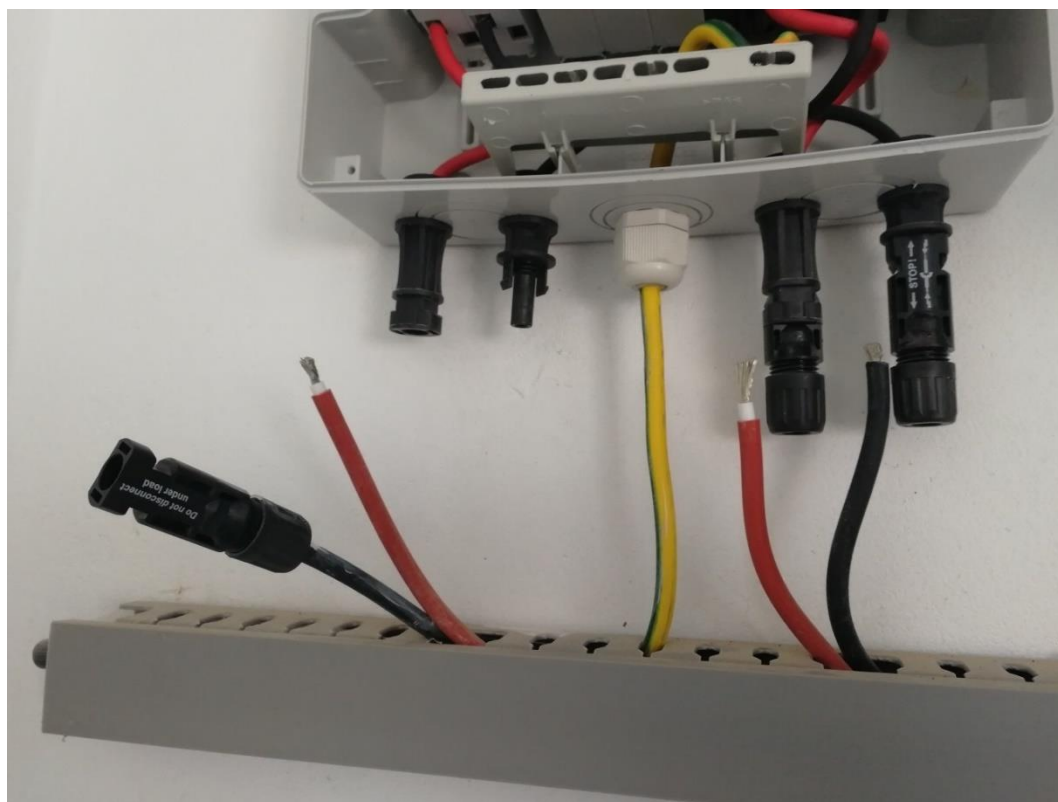
Le sertissage garantit la conduction électrique et la résistance mécanique dans le temps.

Sur de fines tôles, le cintrage élastique est complexe !

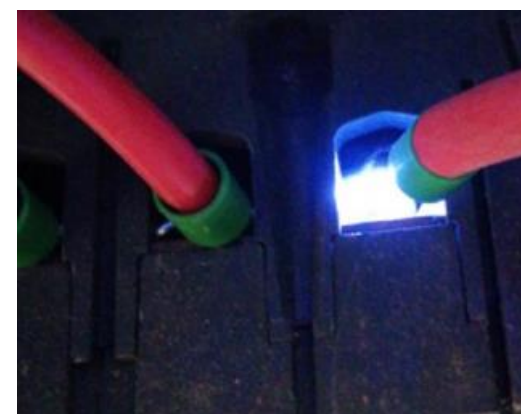
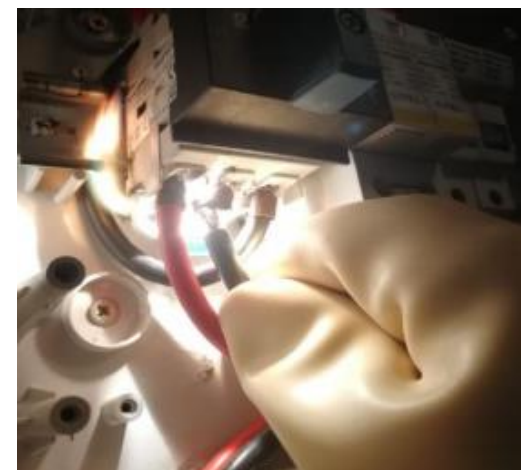




Sertissage à la multiprise

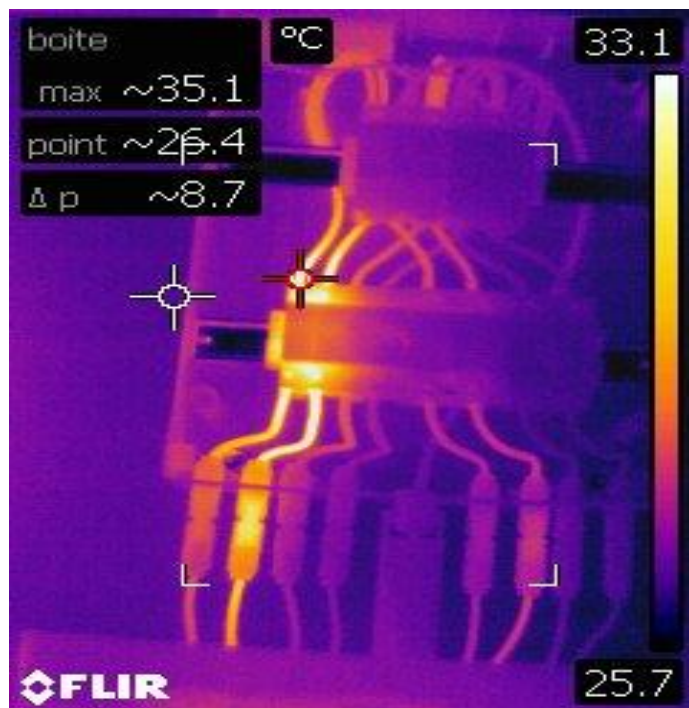


Contact résistif = échauffement = incendie ?

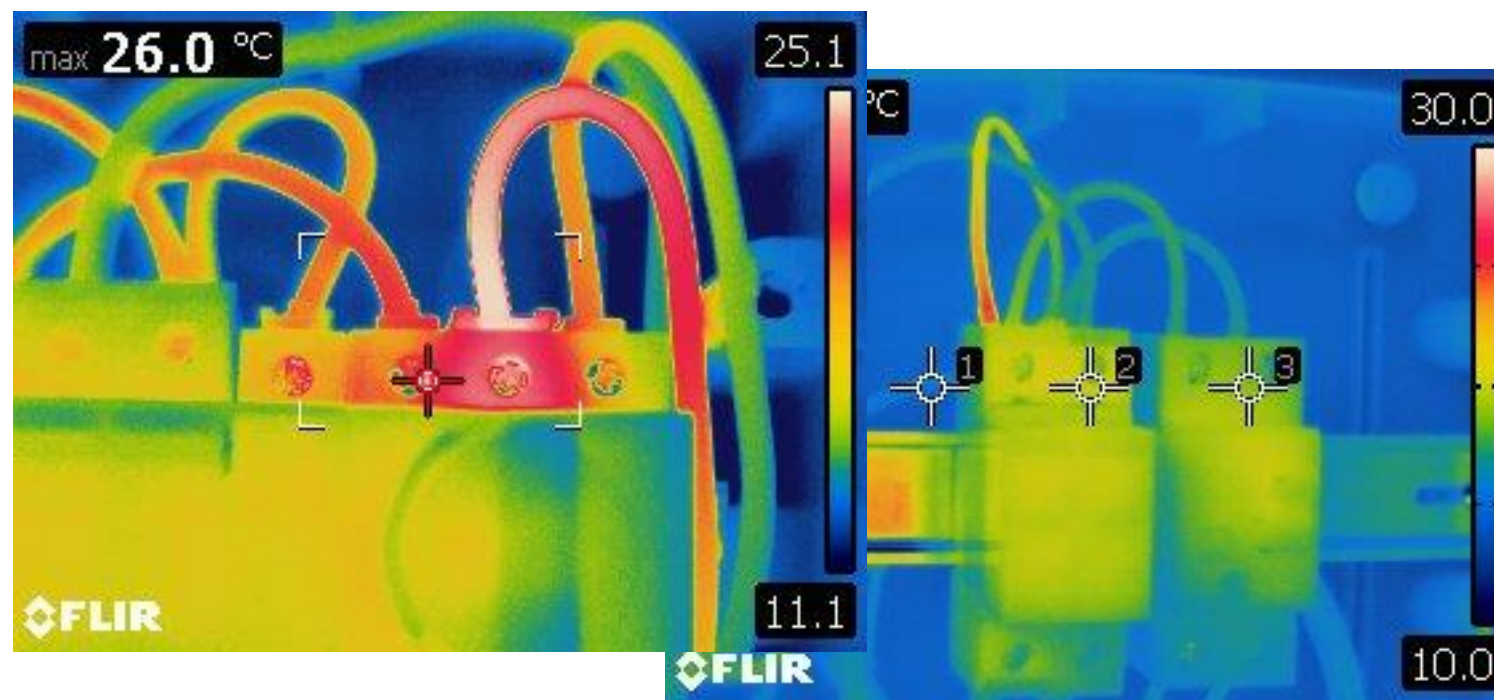


Autres points chauds

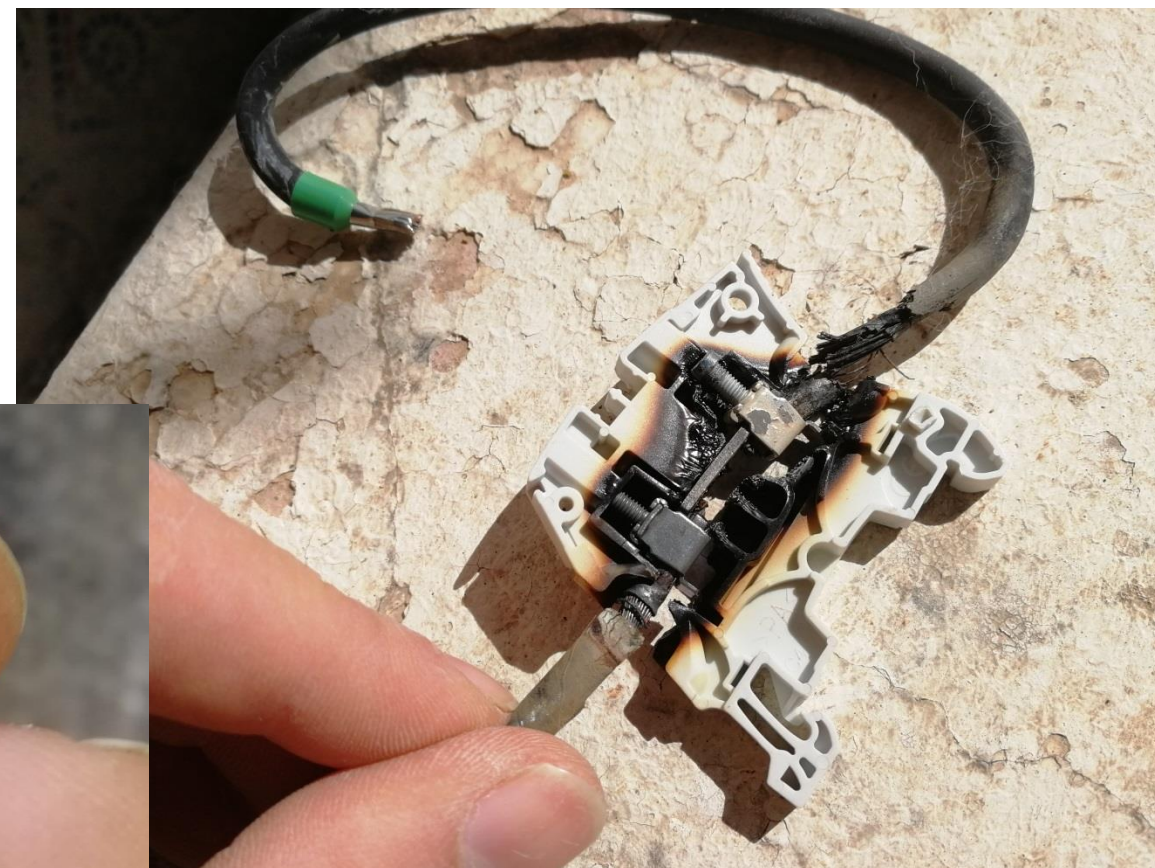
► Echauffement d'un câble



► Echauffement d'une connexion

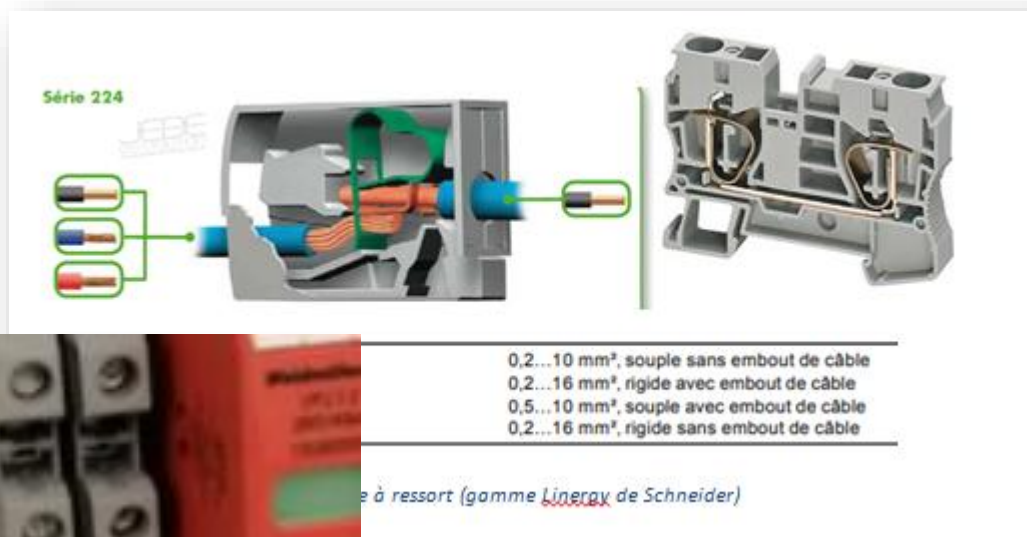


Sertissage à la multiprise



Coffrets DC/AC

- Bornes à ressort pour fil souple et rigide



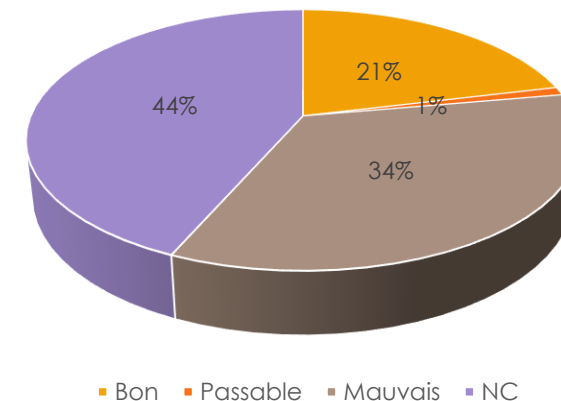
- Résistance à l'arrachement d'un connecteur serti à l'aide du bon outil !



Raccordement réseau

- **Catastrophique dans 60% des cas !**
- Matériel
 - Qualité médiocre, inadapté
 - Quantité défailante
- Mise en œuvre
 - Non conforme
 - Connexions, respect couleurs, IP2X, sécurité des personnes...
 - Amateurisme profond

Bon raccordement réseau STEG



Le contraste classique

Installation PV



Raccordement STEG



Qualité coffrets PV vs coffrets STEG



► Problème de tension réseau

STEG: plan de tension, attention!!



Energie Totale Vs tension

Ond1: 4599 kWh - V1 243 V

Ond2: 3817 kWh - V2 248 V

Ond3: 3629 kWh - V3 247 V



- Message on display - Signal	Name of Derating and Cause
- LIMxxx% CODE:02 - ⚠ Display symbol b6	Power limitation for over-voltage: The message indicates that the user has set a power limitation due to over voltage (parameter U >(10 min)) in order to reduce the maximum output power of the inverter when the reading of the average grid voltage exceeds certain limits. The sampling of readings is done every 10 minutes (U>(10min)). LIM xxx% = Power reduction percentage Examples: LIM 100% = no power limitation LIM 50% = limitation to 50% of the output nominal power

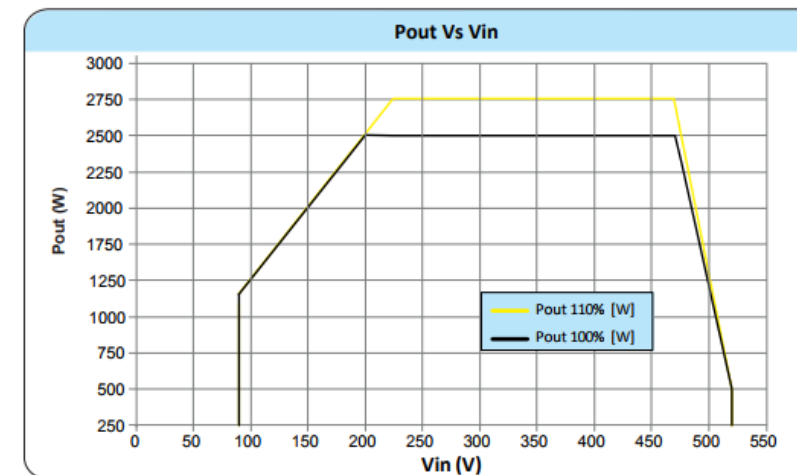
Perte de production évaluée à 47%



Pas de soleil : 250V



Soleil : 254 V



- ▶ Mise à la terre
et
- ▶ Liaison équipotentielle

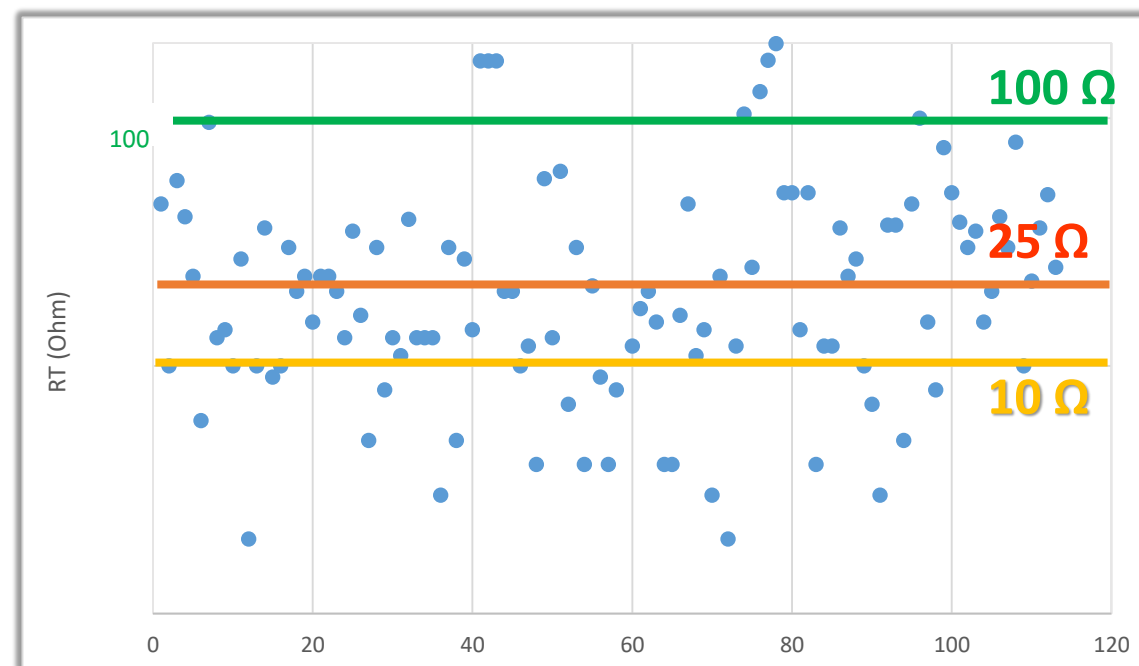
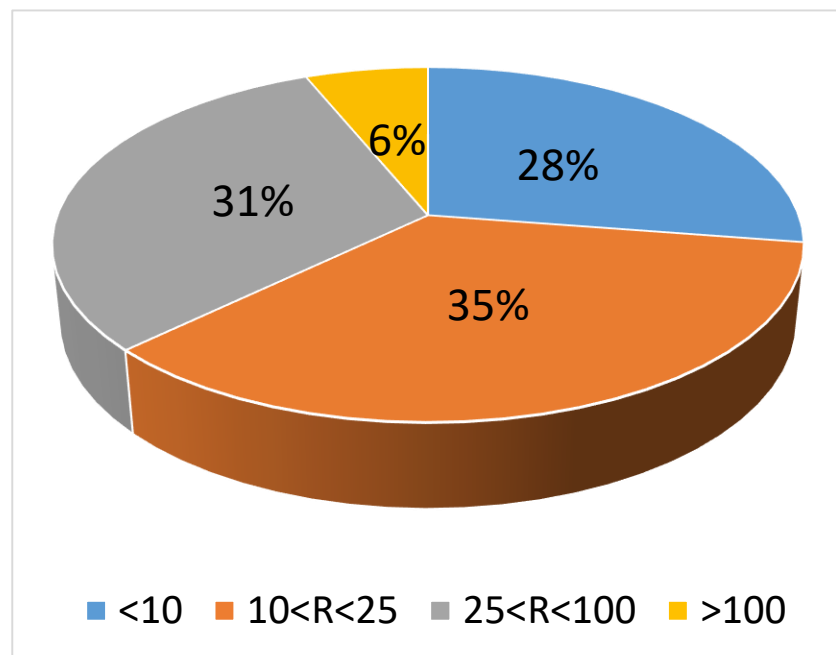
Mise à la Terre

- **Piquet de terre**
 - **Qualité médiocre (piquet cuivre)**
 - **Exigence normative irréaliste dans le temps**
 - Privilégier le piquet galvanisé
- Mise en œuvre
 - Bonne
- Connexion
 - Corrosion importante
 - Protection corrosion par graisse intéressante

Mise à la Terre

Valeur moyenne: $R_t = 36\Omega$

94 % des résistances de terre mesurées $< 100\Omega$



Mise à la Terre

- Exiger une valeur extrême ($10\ \Omega$) avec du matériel fortement dégradable ...



Piquet cuivre Neuf = $10\ \Omega$



*1 an,
le cuivre rouille !?*



*6 ans,
Priez de ne pas toucher !*

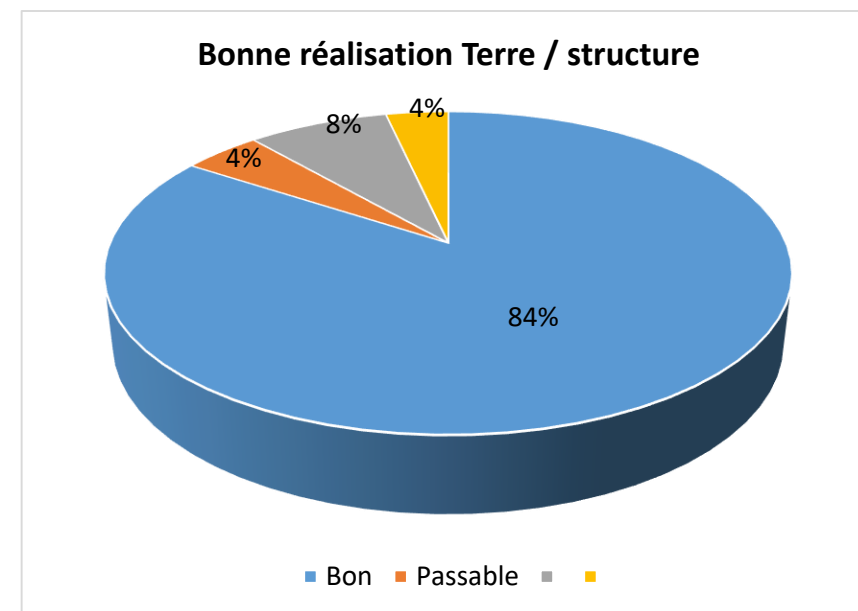


Retour d'expérience:
Graisse contact ou Piquet Galva,
Le résultat est là !



Liaison Equipotentielle des masses

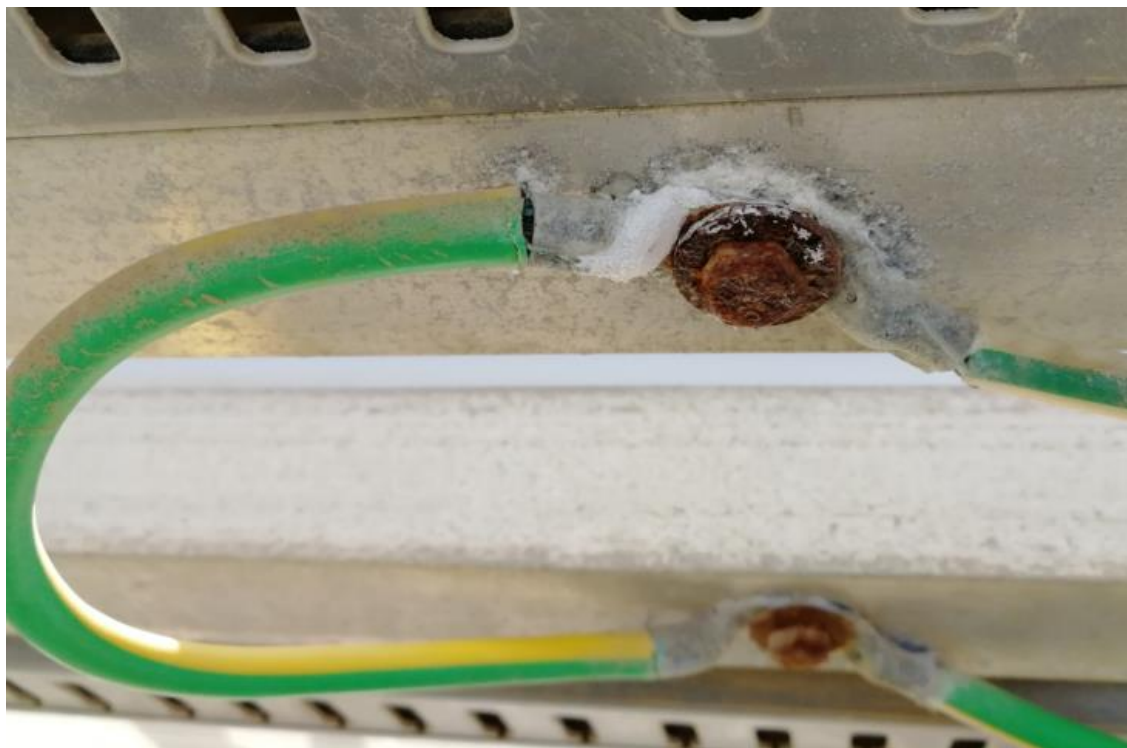
- **Beaucoup d'effort, de temps, de matériel, de coûts inutiles !**
 - Connexions du référentiel pertinentes, simplifications intéressantes
- Mise en œuvre
 - Bonne, simplification à venir
 - Utiliser les rails comme LEP (Liaison Equipotentiel Principale)
- Connexion
 - Corrosion importante couple galvanique entre métaux



Utilité de la liaison équipotentielle



Connexion corrosion ... combien de temps ça tient?



Attention aux couples électrolytiques!!

Tableau des couples galvaniques entre quelques métaux et alliages (en millivolts) Electrolyte : eau + 2% de sel marin

Le métal B est attaqué
Contact pratiquement indifférent
Le métal A est attaqué

Métal A :	Platine	Or	Inox passivé	Argent	Mercure	Nickel	Arcap	Cuivre	Bronze d'al	Laiton	Bronze	Etain	Plomb	Duralumin	Acier doux	Alpax H	Alu 99,5%	Acier dur	Duralinox	Cadmium	Fer pur	Almasilium	Chrome	Sn75-Zn25
Platine	0	130	250	350	350	430	450	570	600	650	770	800	840	940	1000	1065	1090	1095	1100	1100	1105	1105	1200	1350
Or	130	0	110	220	220	300	320	440	470	520	640	670	710	810	870	935	960	965	970	970	975	975	1070	1230
Inox passivé	250	110	0	100	110	180	200	320	350	400	520	550	590	690	750	815	840	845	850	850	855	855	950	1100
Argent	350	220	100	0	0	80	100	220	250	300	420	450	490	590	650	715	740	745	750	750	755	755	850	1010
Mercure	350	220	110	0	0	80	100	220	250	300	420	450	490	590	650	715	740	745	750	750	755	755	850	1010
Nickel	430	300	180	80	80	0	20	140	170	220	340	370	410	510	570	635	660	665	670	670	675	675	770	930
Arcap	450	320	200	100	100	20	0	120	150	200	320	350	380	490	550	615	640	645	650	650	655	655	750	910
Cuivre	570	440	320	220	220	140	120	0	30	80	200	230	270	370	430	495	520	525	530	530	535	535	630	790
Bronze d'al	600	470	350	250	250	170	150	30	0	50	170	200	240	340	400	465	490	495	500	500	505	505	600	760
Laiton	650	520	400	300	300	220	200	80	50	0	120	150	190	290	350	415	440	445	450	450	455	455	550	710
Bronze	770	640	520	420	420	340	320	200	170	120	0	30	70	170	230	295	320	325	330	330	335	335	430	590
Etain	800	670	550	450	450	370	350	230	200	150	30	0	40	140	200	265	290	295	300	300	305	305	400	560
Plomb	840	710	590	490	490	410	380	270	240	190	70	40	0	100	160	225	250	255	260	200	265	265	360	520
Duralumin	940	810	690	590	590	510	490	370	340	290	170	140	100	0	60	125	150	155	160	160	165	165	260	420
Acier doux	1000	870	750	650	650	570	550	430	400	350	230	200	160	60	0	65	90	95	100	110	105	105	200	360
Alpax H	1065	935	815	715	715	635	615	495	465	415	295	265	225	125	65	0	25	30	35	35	40	40	135	295
Alu 99,5%	1090	960	840	740	740	660	640	520	490	440	320	290	250	150	90	25	0	5	10	10	15	15	110	270
Acier dur	1095	965	845	745	745	665	645	525	495	445	325	295	255	155	95	30	5	0	5	5	10	10	105	265
Duralinox	1100	970	850	750	750	670	650	530	500	450	330	300	260	160	100	35	10	5	0	0	5	5	100	260
Cadmium	1100	970	850	750	750	670	650	530	500	450	330	300	200	160	110	35	10	5	0	0	5	5	100	260
Fer pur	1105	975	855	755	755	675	655	535	505	455	335	305	265	165	105	40	15	10	5	5	0	0	95	255
Almasilium	1105	975	855	755	755	675	655	535	505	455	335	305	265	165	105	40	15	10	5	5	0	0	95	255
Chrome	1200	1070	950	850	850	770	750	630	600	550	430	400	360	260	200	135	110	105	100	100	95	95	0	25
Sn75-Zn25	1350	1230	1100	1010	1010	930	910	790	760	710	590	560	520	420	360	295	270	265	260	260	255	255	25	0
Zinc	1400	1270	1150	1050	1050	970	950	830	800	750	630	600	560	530	400	335	310	305	300	300	295	295	200	40
Magnésium	1950	1820	1700	1600	1600	1520	1500	1380	1350	1300	1180	1150	1100	1010	950	885	860	855	850	850	845	845	750	590

(Source : SER-COPREC)

► Foudre

$2 / 130 = 1,5\%$



- 1- Erreur réseau (phase sur neutre)
- 2- Surtension atmosphérique retour réseau
- Aucun retour sur DC



Niveaux kérauniques en Tunisie

Note - Pour obtenir la densité de foudroiement correspondante (N_g), il suffit de diviser N_k par 10.

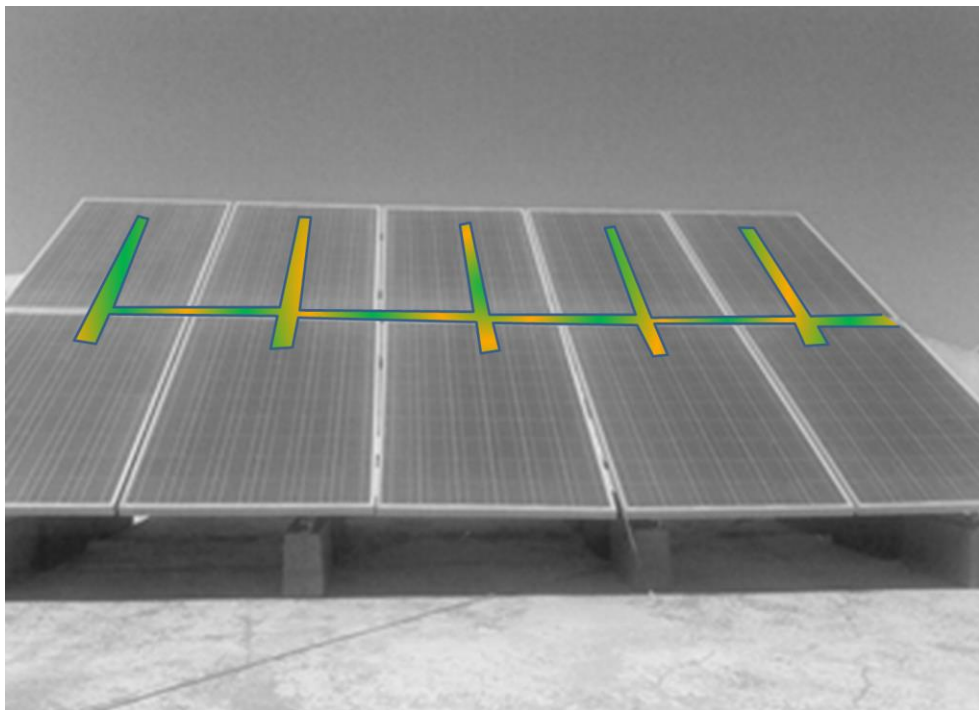


Type d'installation	Locaux d'habitation individuelle	Centrale de production au sol	Bâtiments Tertiaires/Industriels/Agricoles
L_{crit} (en m)	$115/N_g$	$200/N_g$	$450/N_g$
$L \geq L_{crit}$	Parafoudre(s) obligatoire(s) côté d.c. ⁽¹⁾		
$L < L_{crit}$	Parafoudre(s) non obligatoire(s) côté d.c. ⁽²⁾		
⁽¹⁾ La mise en œuvre de parafoudres peut ne pas être indispensable dans le cas où tous les câbles d.c. sont protégés par des enveloppes métalliques assurant un écran réduisant les effets électromagnétiques.			
⁽²⁾ L'utilisation de parafoudres peut également être nécessaire pour la protection d'installations photovoltaïques dont le coût et l'indisponibilité peuvent être critiques.			

URE 17 : EXTRAIT DU CHAPITRE 13 DE LA NF C15-712-1 RELATIF AUX CONDITIONS D'INSTALLATION DES PARAFOUDRES COTE DC

Sauf régions fortement exposées (indice Kéraunique > 25, régions en jaune) ces protections ne semblent pas justifiées sur les installations de petites puissances ($P_c < 5\text{kWc}$), ce suréquipement entraînant plus de non conformités que de sécurité

Petit calcul pour situer les propos



L'amplitude du courant de foudre rapidement variable engendre un champ magnétique dont la variation donne lieu à une induction dans une boucle traversée par ce champ (Loi de Lenz).

- ▶ La tension induite dans la boucle de surface S de la figure ci-jointe est donnée par la formule suivante:

$$U = 2 \times 10^{-7} \cdot S / r \cdot di/dt$$



- ▶ avec r , distance entre le point d'impact et le centre de la boucle
- ▶ S la surface de la boucle
- ▶ Plus la surface de boucle est grande, plus la surtension U est importante

Exemple 1, pour une surface de 10 m^2 et un coup de foudre de pente $50 \text{ kA}/\mu\text{s}$, tombant à 20 mètres, la surtension induite en mode commun sur la liaison signal sera de 5 kV environ ce qui correspond à la tenue au choc (U_w) fréquent des onduleurs

D'après l'exemple 1 appliqué à une mise en œuvre classique (photo ci contre) nous pouvons estimer une boucle d'induction résiduelle significative pour 100 modules [$10 \text{ m}^2 / 0,1 \text{ m}^2$].

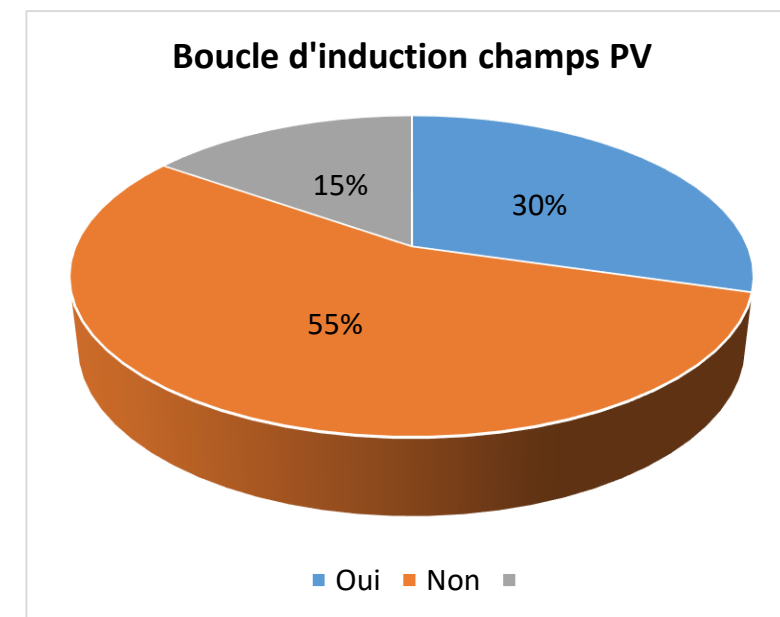
Si on ajoute un facteur 5 de sécurité, le risque apparaît pour 20 modules.

En supposant des modules standards de 250Wc, la mise en place de parafoudre semble fortement recommandé à partir de 5kWc.



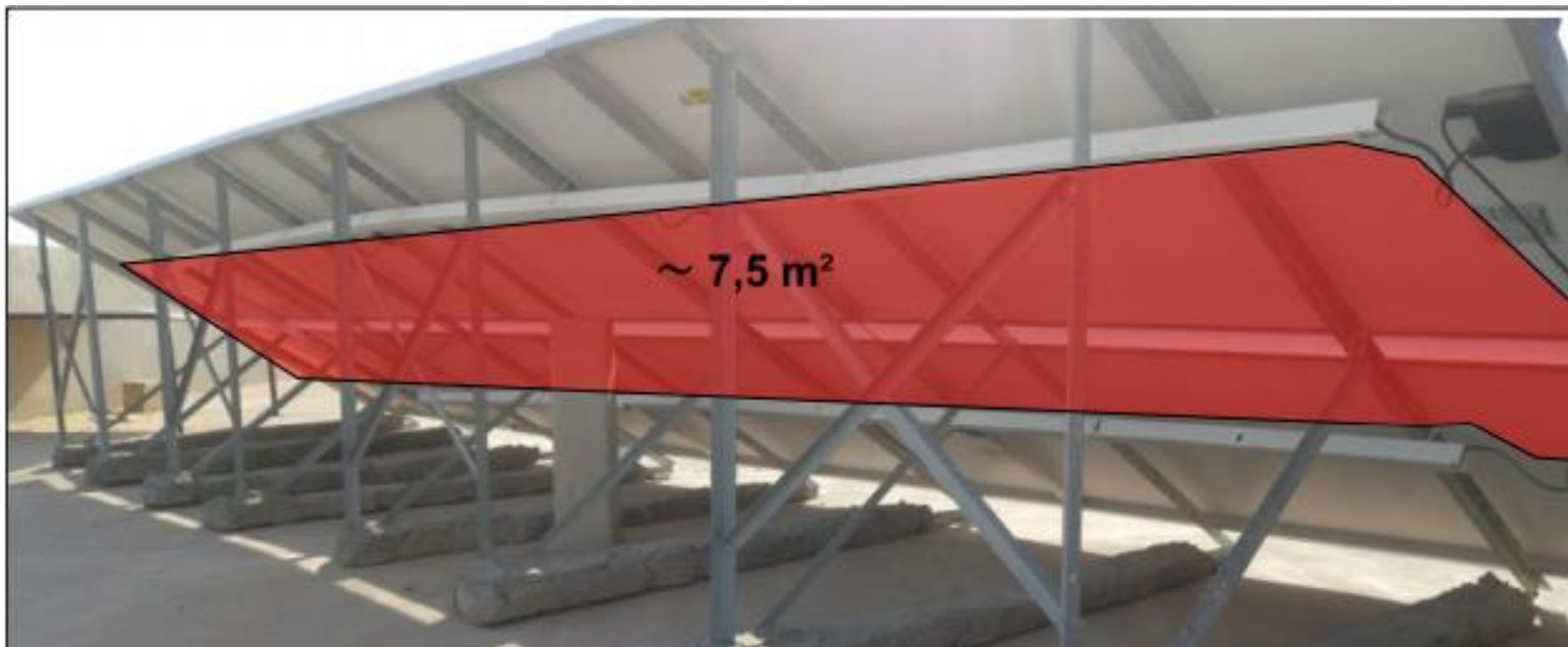
Boucle d'induction

- **Problématique travaillée mais pas toujours solutionnée**
- Boucle entre polarités
 - Pose des module tête bêche: une solution simple et pratique
 - **Schéma de câblage sur site inexistant**
- Boucle entre polarités et terre
 - Toujours faire cheminer polarité et terre dans le même conduit de liaison
- Connexion
 - Corrosion importante couple galvanique entre métaux

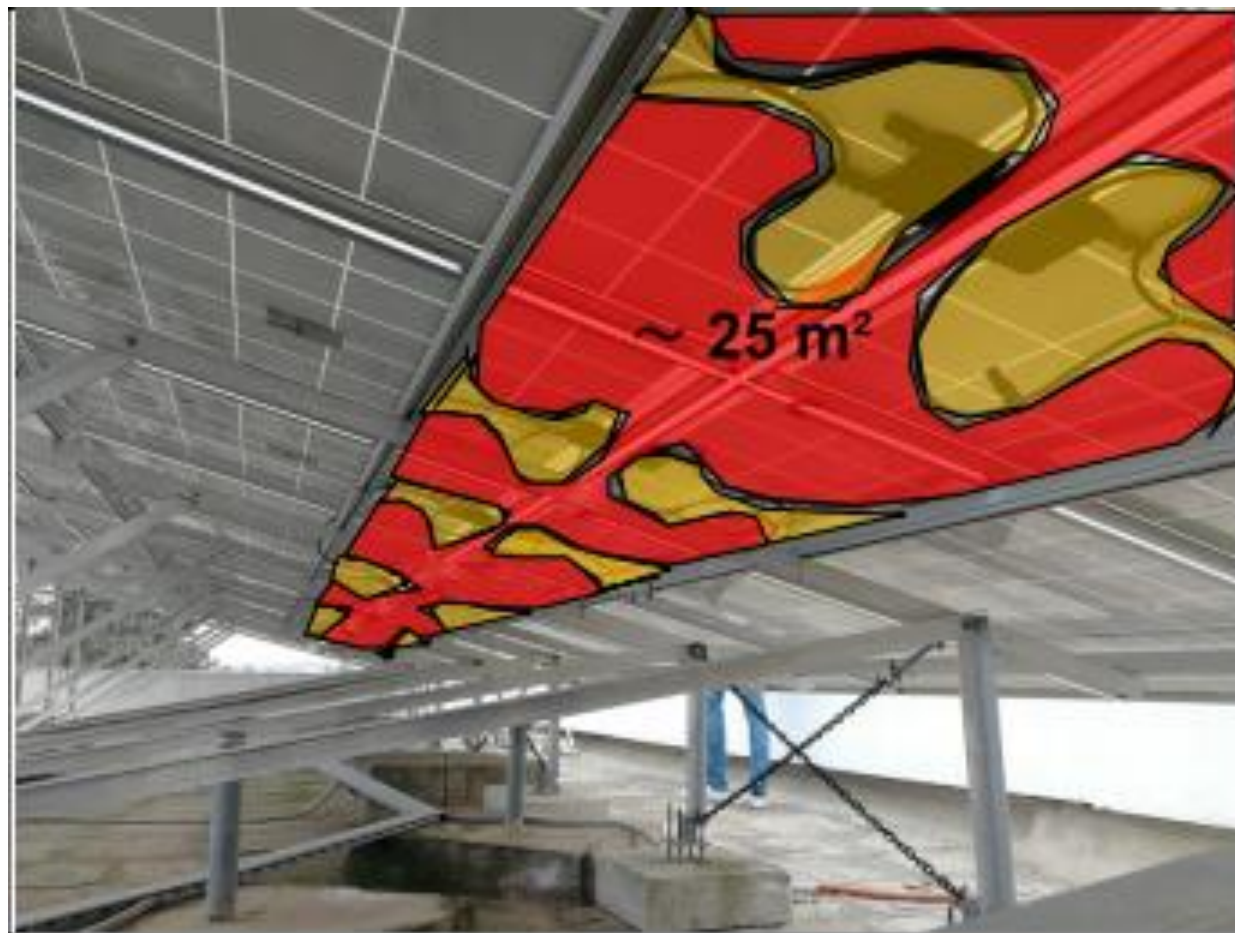


Boucle d'induction

!!! Très grande boucle à induction !!!

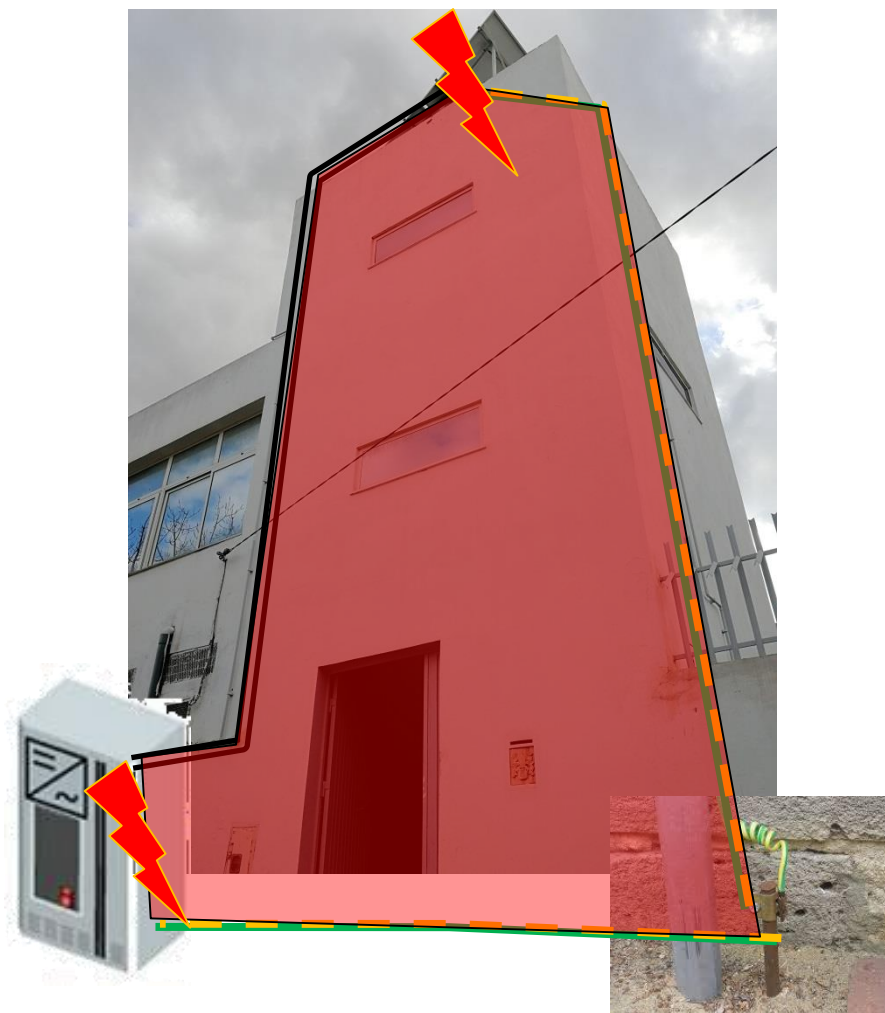


Boucle d'induction



Boucle d'induction

Polarité et LEP conjointes, sinon...



Faire attention à son environnement



Note artistique



- Echantillonnage
- Résultats de la campagne de mesures
 - * Cadre technique et législatif
 - * Points de contrôle et de mesures
 - * Performance énergétique
 - * Rentabilité économique
- Questionnaire clients
- Points de vigilance et recommandations

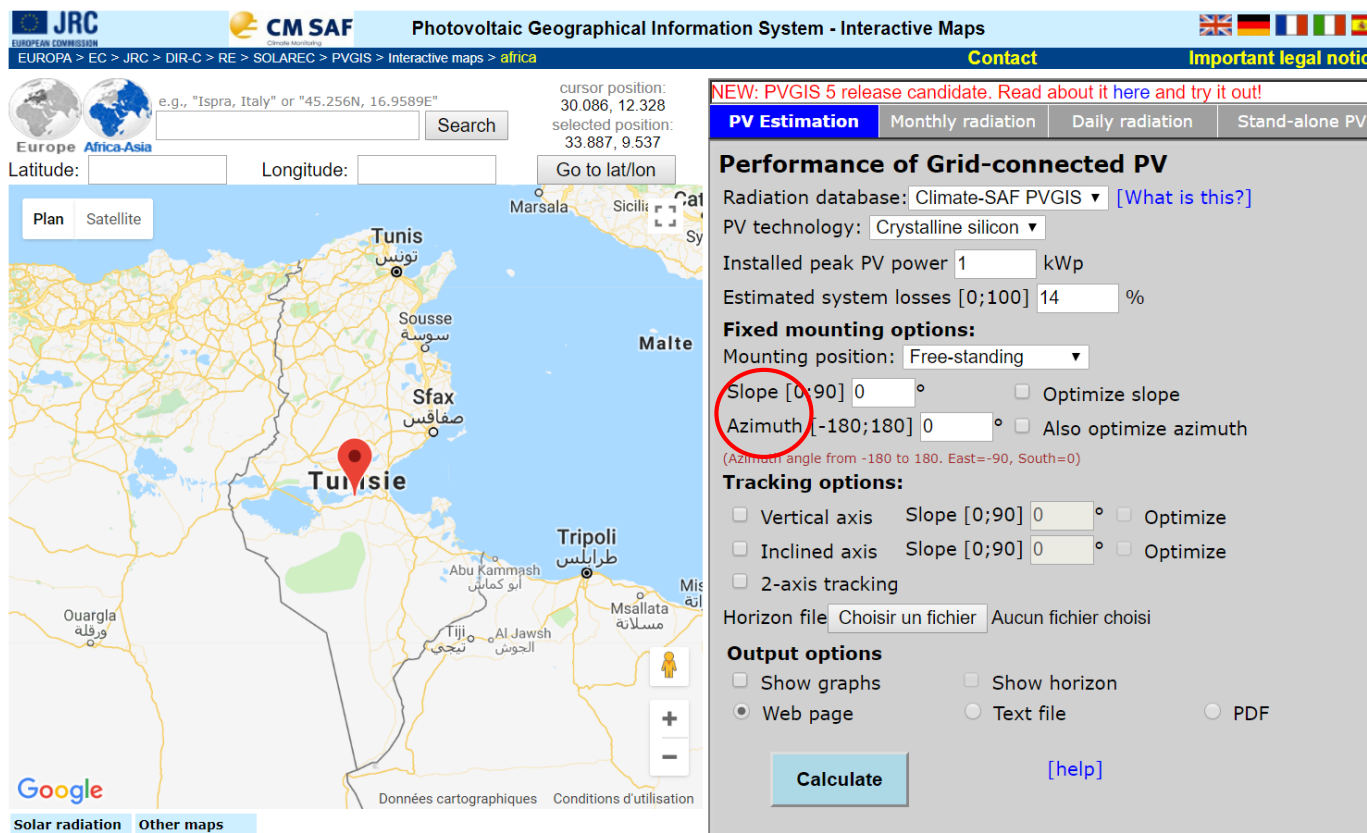
$$\text{Performance énergétique} = \frac{\text{ce que l'installation produit}}{\text{ce que l'installation devrait produire}}$$

(Dans les mêmes conditions)

Valeur lue sur l'écran de l'onduleur le jour J

Valeur simulée par PVGIS dans les mêmes conditions

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?map=africa>



The screenshot shows the PVGIS Interactive Maps interface. The map displays Tunisia with a red pin indicating the location. The settings panel on the right is titled "Performance of Grid-connected PV" and includes the following options:

- Radiation database:** Climate-SAF PVGIS
- PV technology:** Crystalline silicon
- Installed peak PV power:** 1 kWp
- Estimated system losses [0;100]:** 14 %
- Fixed mounting options:**
 - Mounting position: Free-standing
 - Slope [0;90]: 0 °
 - Azimuth [-180;180]: 0 °
- Tracking options:**
 - Vertical axis: Slope [0;90]: 0 °
 - Inclined axis: Slope [0;90]: 0 °
 - 2-axis tracking
- Horizon file:** Choisir un fichier
- Output options:**
 - Show graphs
 - Web page
 - Show horizon
 - Text file
 - PDF

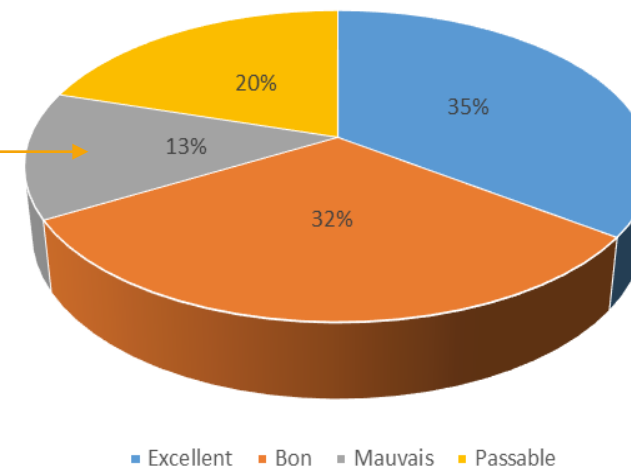
The "Calculate" button is visible at the bottom of the settings panel.



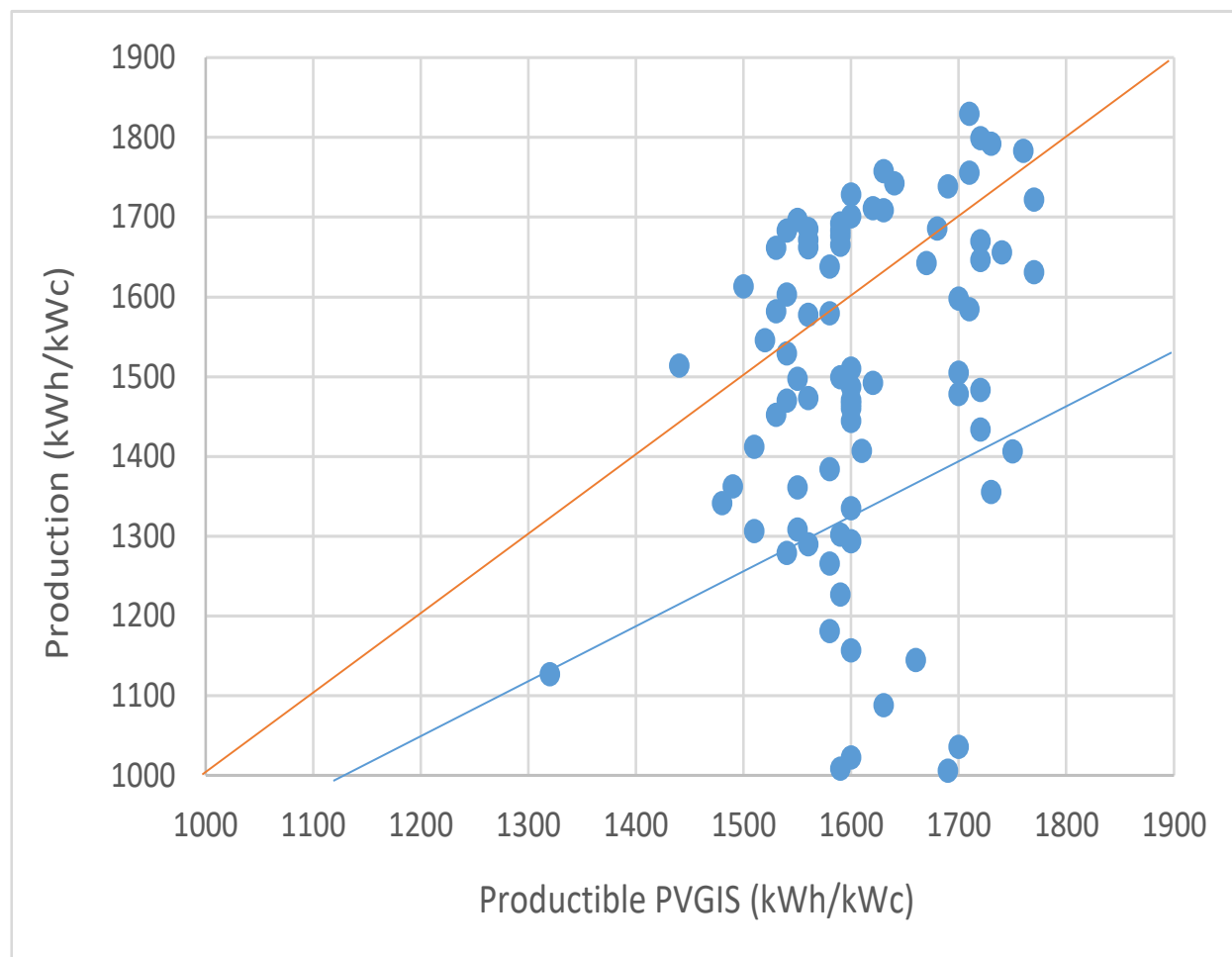
- Salissure des modules
- Mauvaise exposition
- Onduleurs tombés en panne
- Ombrage très proche



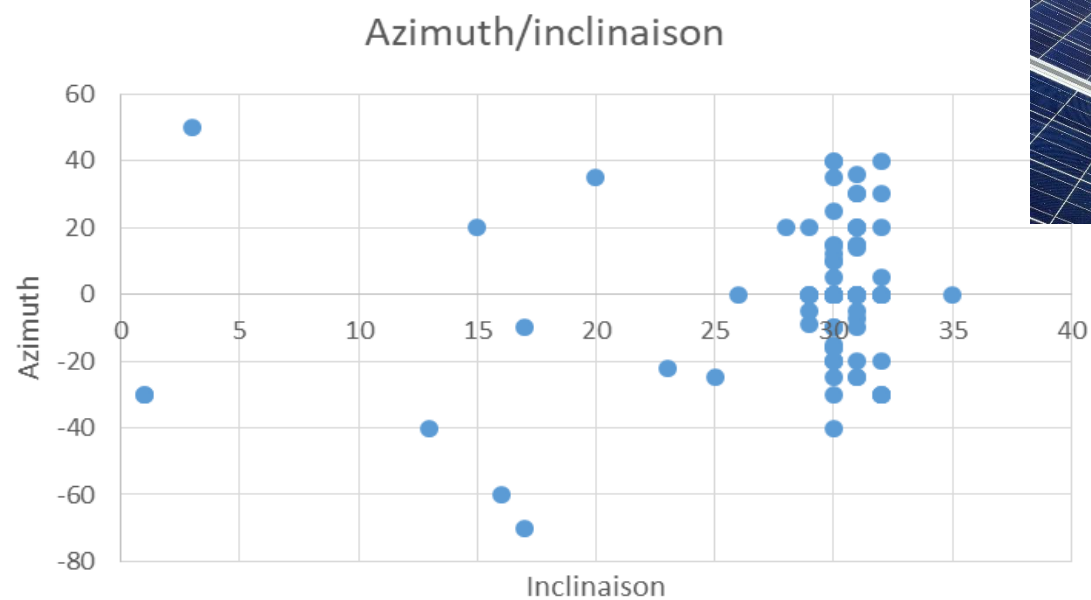
Performance énergétique



Excellent: performance >100%
Bon: performance > 90%
Passable: performance > 80%
Mauvais: performance < 80%



► Exposition des modules



Production fonction de l'exposition



► Pertes en fonction de l'inclinaison pour un azimut optimal (plein sud)

- 45°1570 → -2%
- 40°1590
- 33° (plein sud) 1600kWh/kWc à Tunis
- 25°1590
- 20°1570 → -2%
- 15°1540
- 10°1510 → -6%
- **<10° problème d'encrassement**

Estimation PV Gis

Un abaissement de l'inclinaison des modules permet:

- de réduire la prise au vent
- satisfaire une contrainte de charge admissible par la toiture
- éviter les ombres portés (sur une autre rangée de modules)
- d'augmenter la puissance installée

Pose horizontale (<10°) à proscrire (encrassement des modules)

Production fonction de l'exposition



► Pertes en fonction de l'azimut pour une pente optimale

- 0° (plein sud) 1600kWh/kWc à Tunis
- 10° 1600 kWh/kWc
- 15° 1590
- 20° 1580
- 25° 1570
- 30° 1560 → -2,5 %










Estimation PV Gis



A propos, les paraboles ne sont pas toujours plein Sud!!



Synthèse exposition des modules

Inclinaison \ Orientation	0° 	30° 	60° 	90° 
Est 	0,88	0,82	0,68	0,46
Sud-Est 	0,88	0,94	0,85	0,59
Sud 	0,88	0,99	0,9	0,6
Sud-Ouest 	0,88	0,94	0,85	0,59
Ouest 	0,88	0,82	0,68	0,46

Une zone assez large est possible

- ▶ Le client doit être informé de la perte engendrée par une simulation type PVGIS à minima.
- ▶ Cette orientation est à nuancer en particulier avec le masque solaire du site.
- ▶ Attention à l'encrassement des modules sur des inclinaisons faibles (<10%)
- ▶ Précaution lorsque l'exposition et l'orientation ne sont pas optimales
- ▶ Exemple:
Incl 15° Az 45° perte? → 7 à 8 %

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?map=africa>

► Gisement solaire et Ombrage

Diagramme solaire

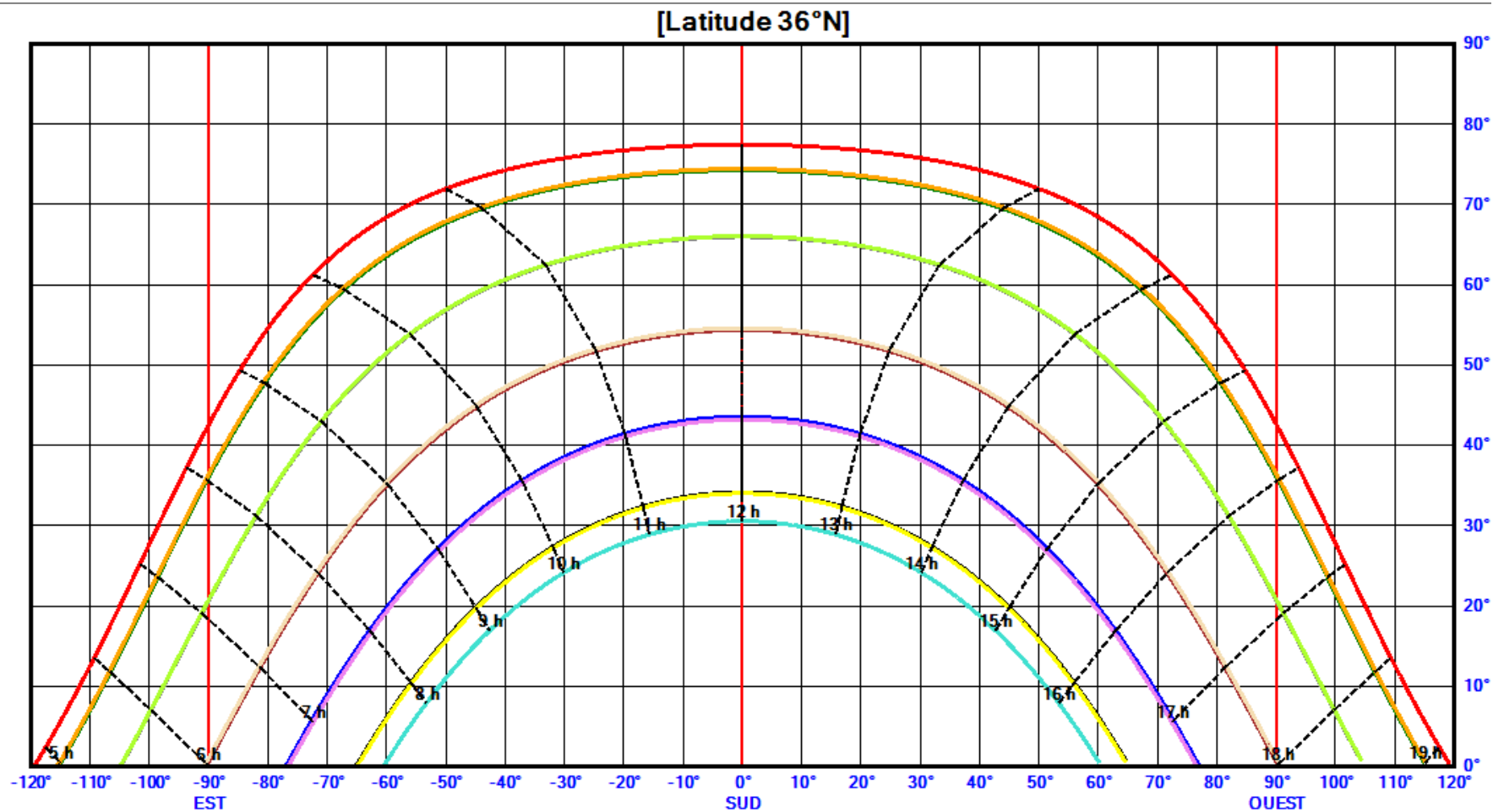


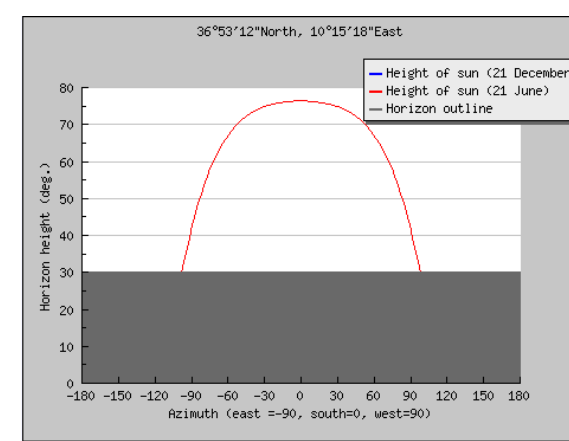
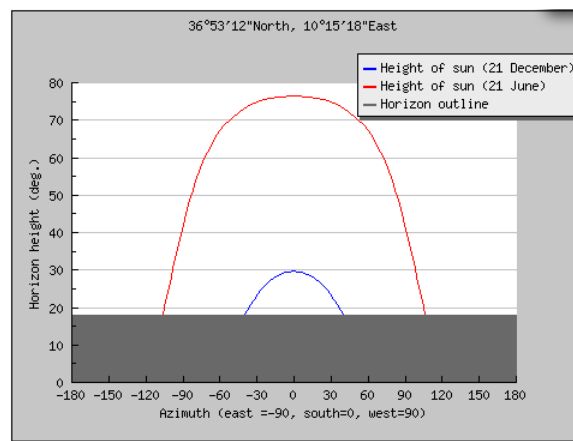
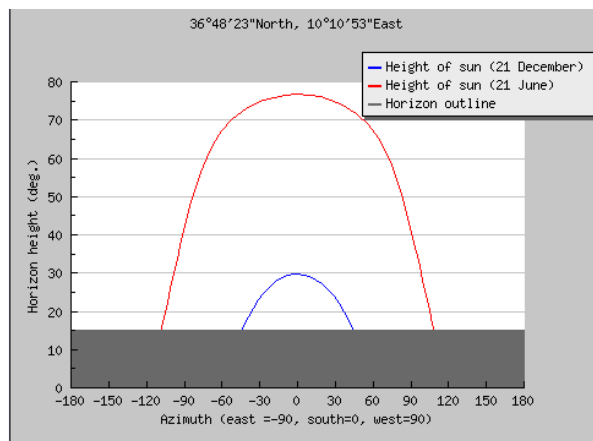
Diagramme solaire

Masque proche: distance d'écartement

- ▶ D=4h
- ▶ Ombrage 15°
- ▶ 1560/1600 → 3% de perte

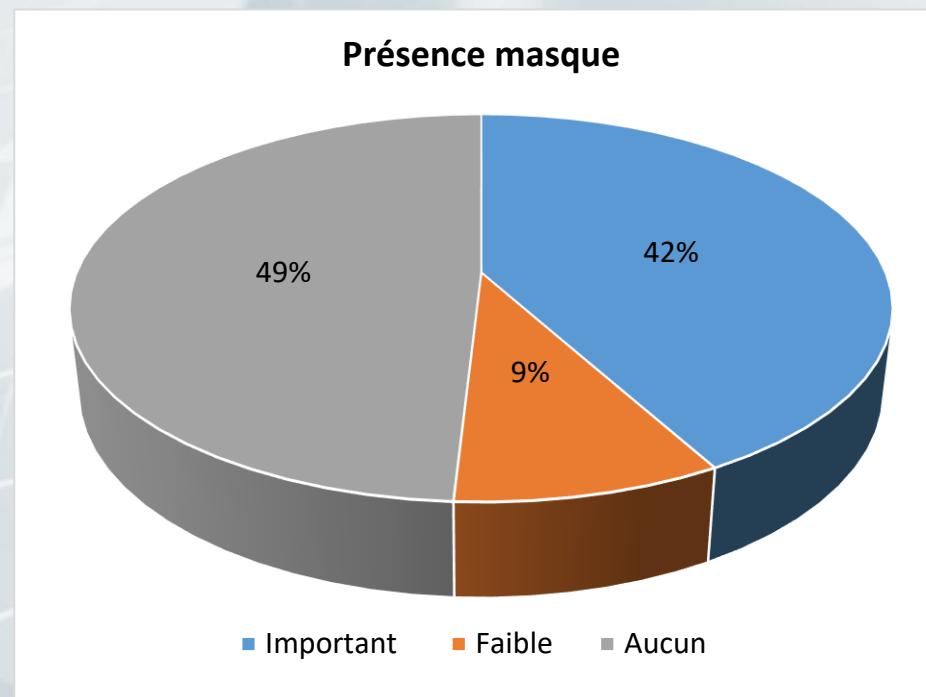
- ▶ D=3h
- ▶ Ombrage 18°
- ▶ 1530/1600 → 4% de perte

- ▶ D=2h
- ▶ Ombrage 30°
- ▶ 1300/1600 → 19% de perte



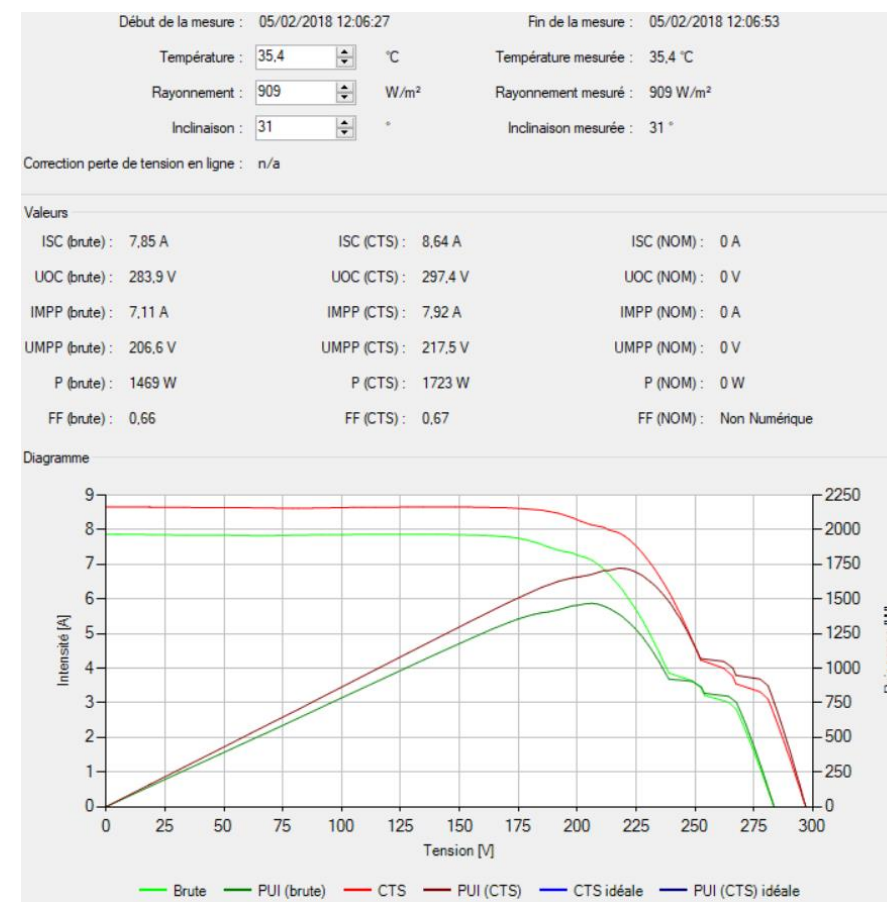
Remarque: valeur indicative pour un ombrage total est à 360°

► Ombrage proche à l'horizon



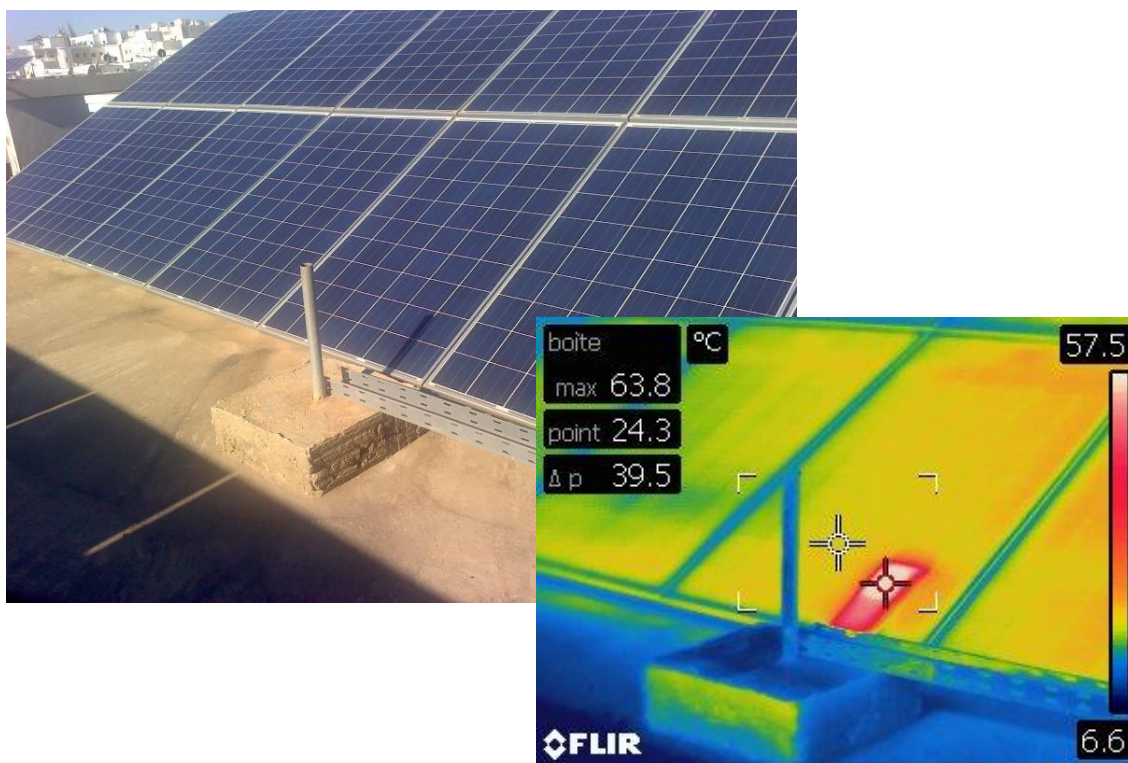
Ombrage proche

Petit ombrage sans activation de diode by-pass



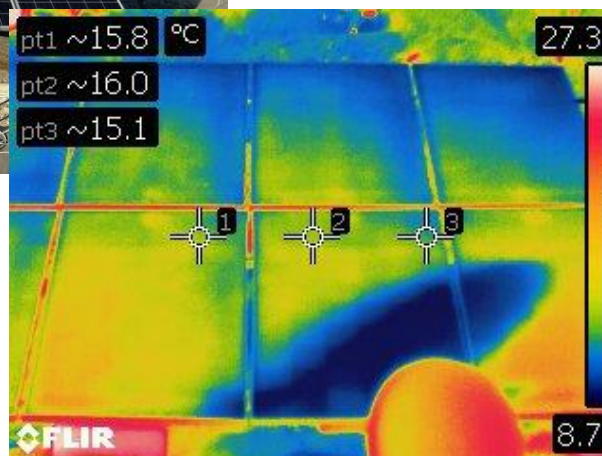
Ombrage proche

Petit ombrage sans activation de diode by-pass



Ombrage proche

Ombrage conséquent, activation des diodes by-pass



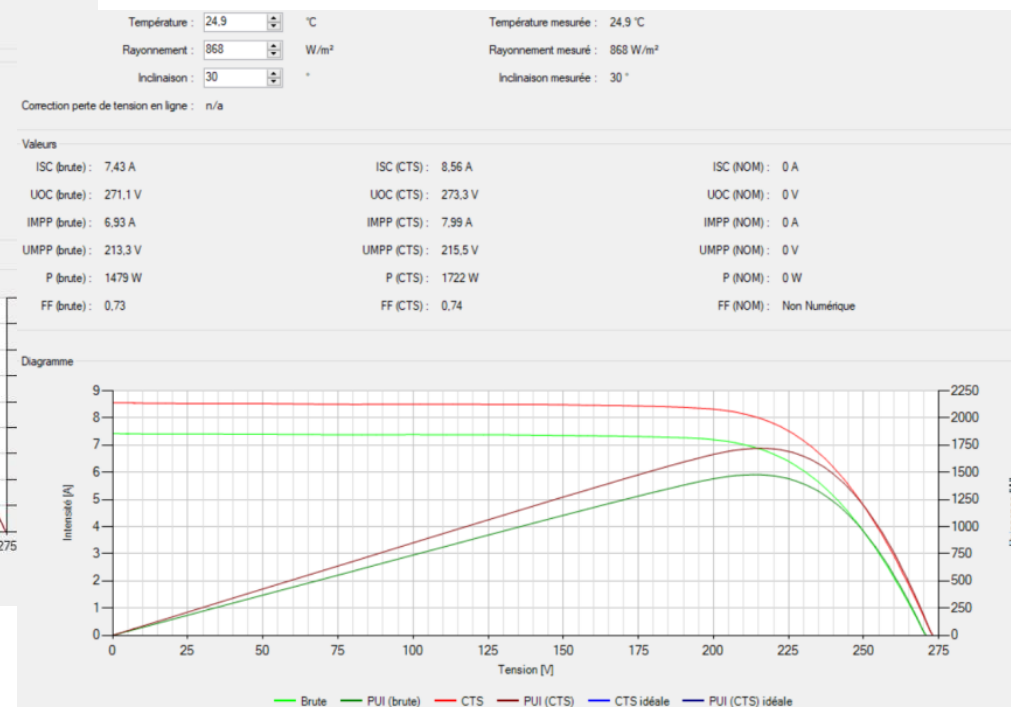
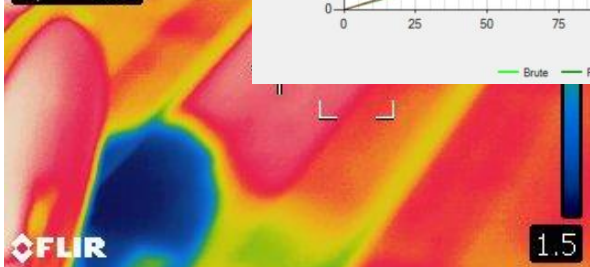
Ombrage proche

Ombrage conséquent, activation des diodes by-pass

Enlèvement de la parabole

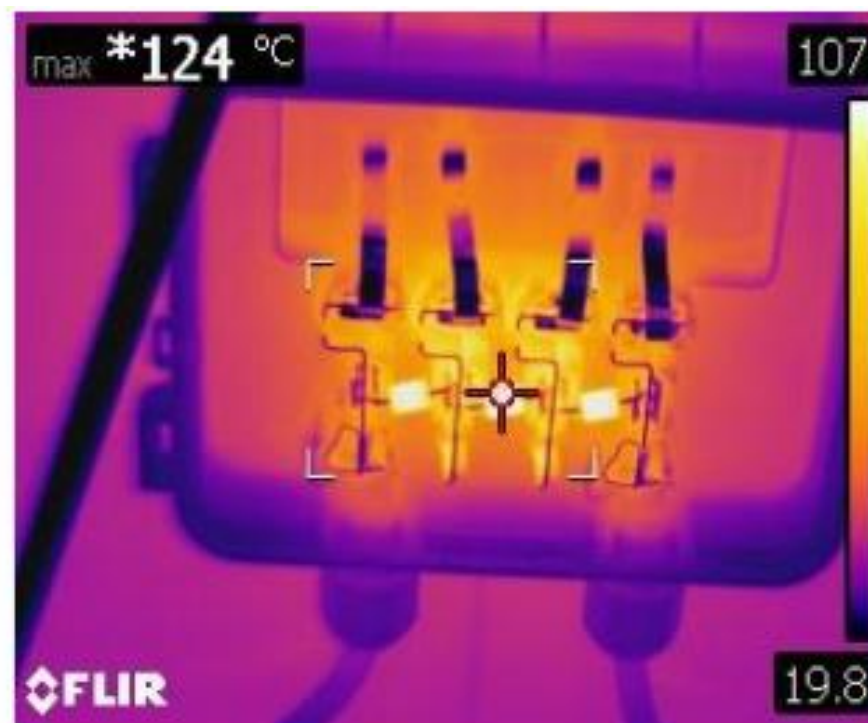


boîte °C
max 29.6
point 23.9
 Δp 5.7



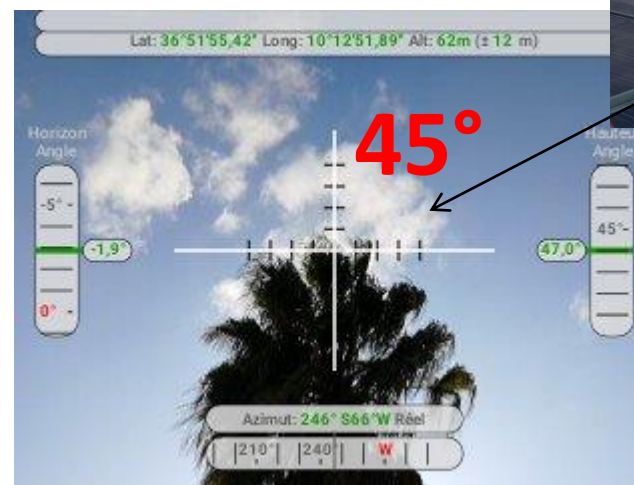
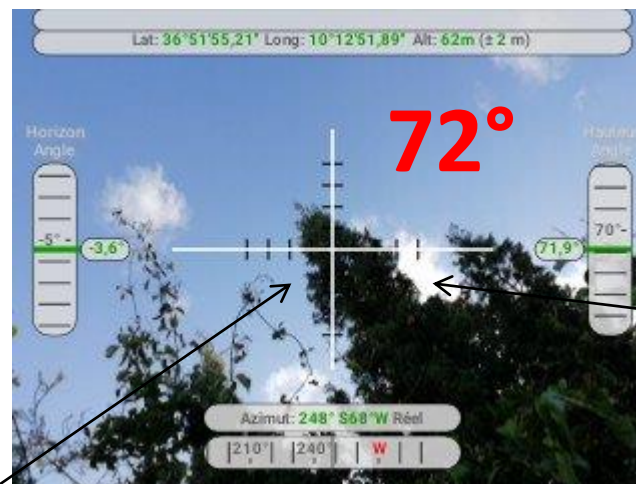
Ombrage proche

Ombrage régulier ... diode sollicitée ... pour quelle durée?

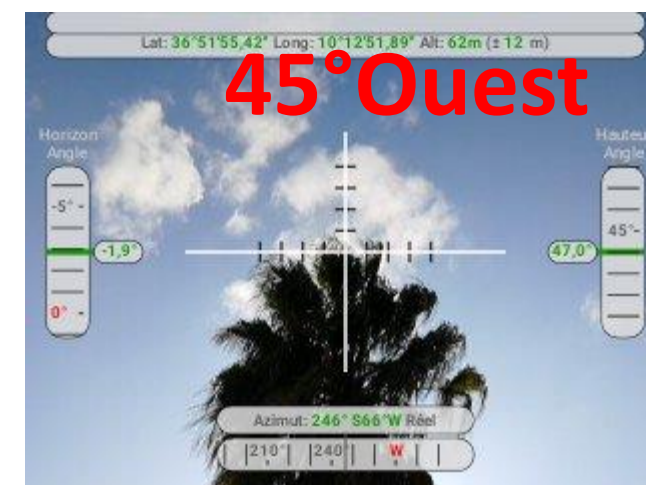


Ombrage proche

Attention à la végétation !!!



Ombrage proche



► Maintenance et reporting

Maintenance des systèmes PV



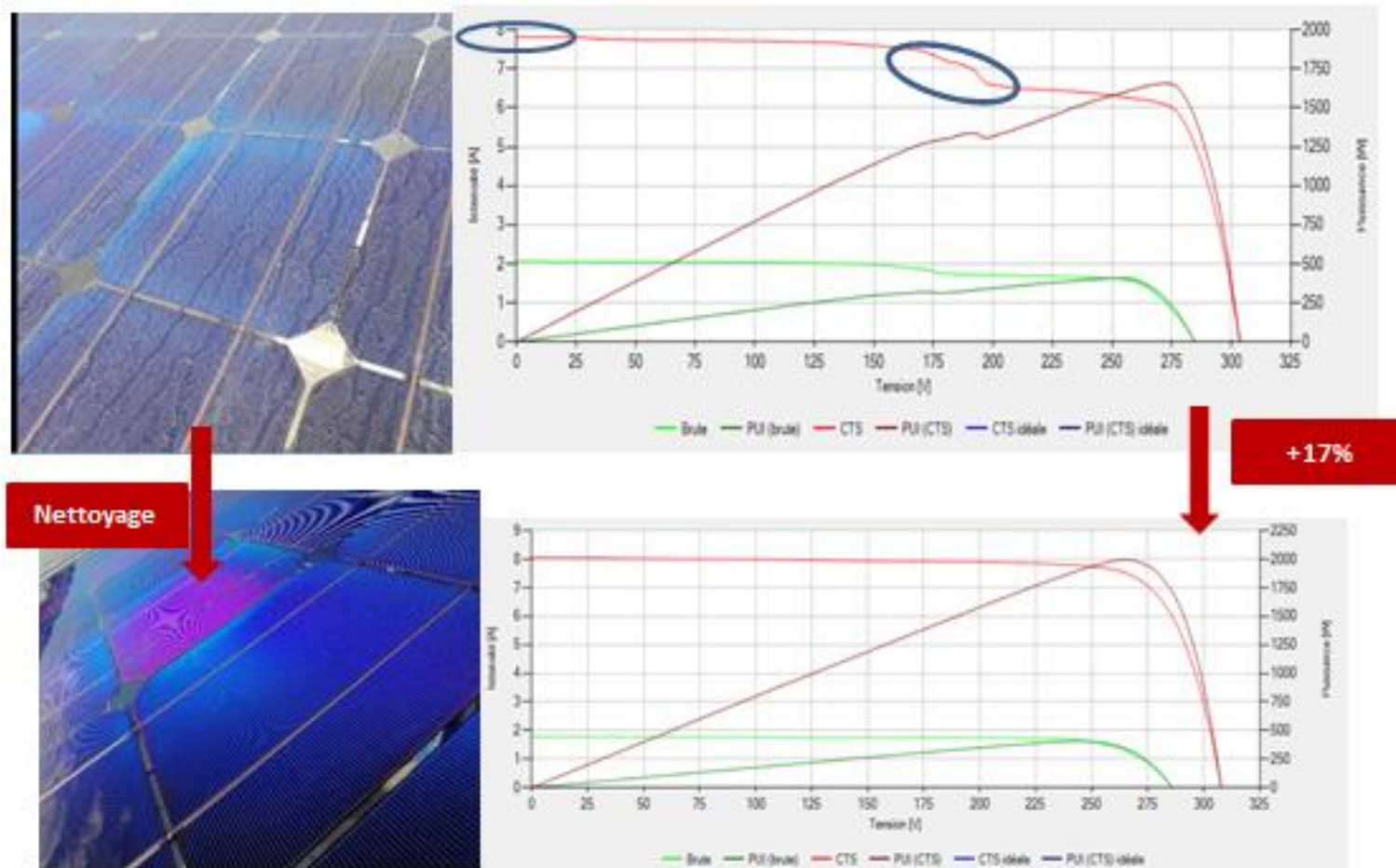
➤ Maintenance périodique,

- Ex: Resserrage des borniers à vis la première année
- Inspection des modules, câbles structure à 4,5 ans
- Nettoyage des modules régulièrement (en fonction de l'encrassement)

➤ Maintenance corrective

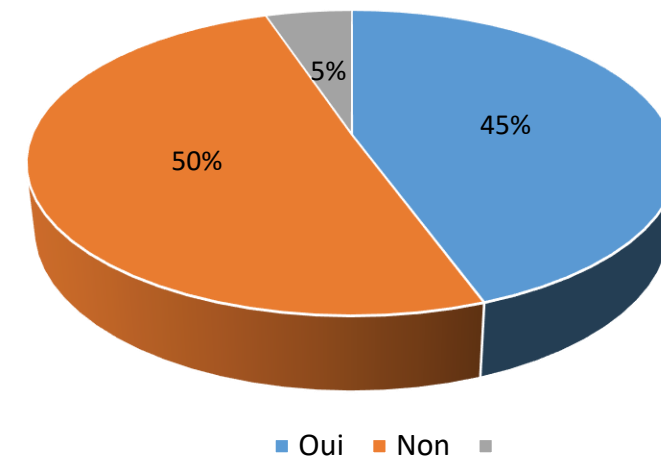
- Suite à une panne ou perte de production → **nécessité d'un suivi de production**

Nettoyage des modules

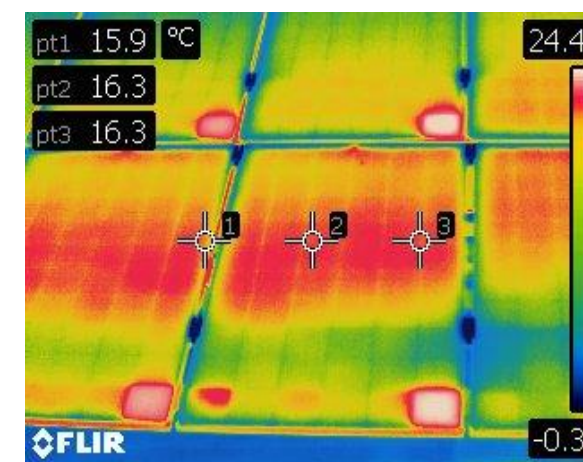
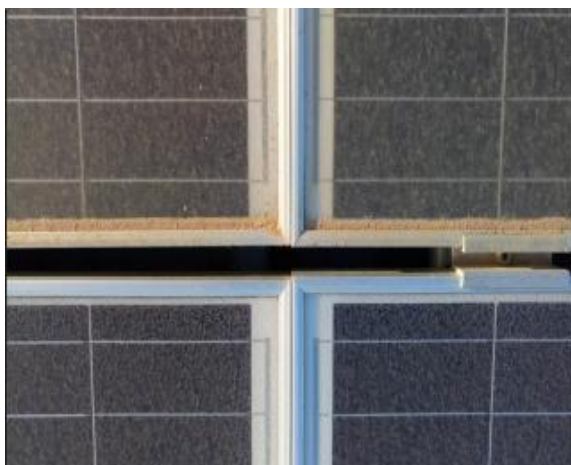
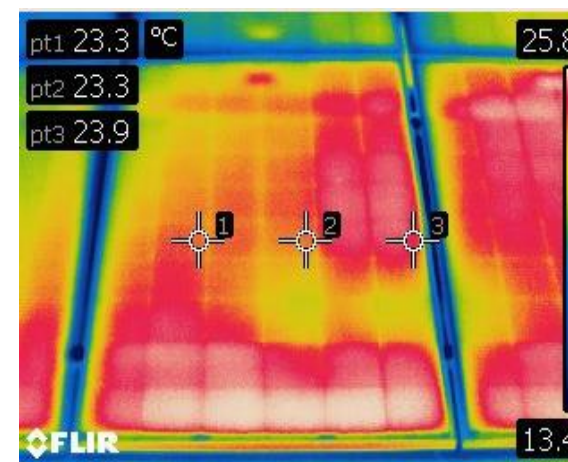
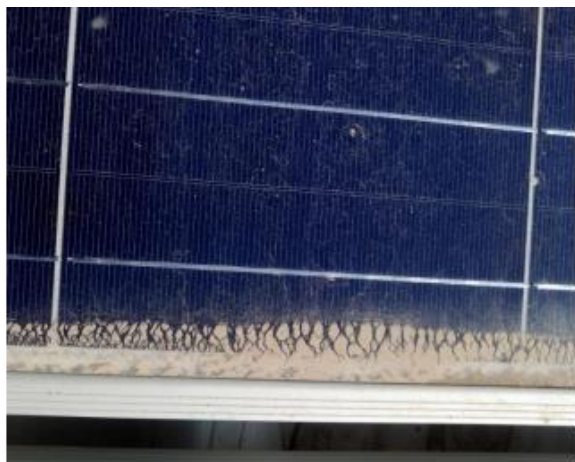


Première cause de perte de production !

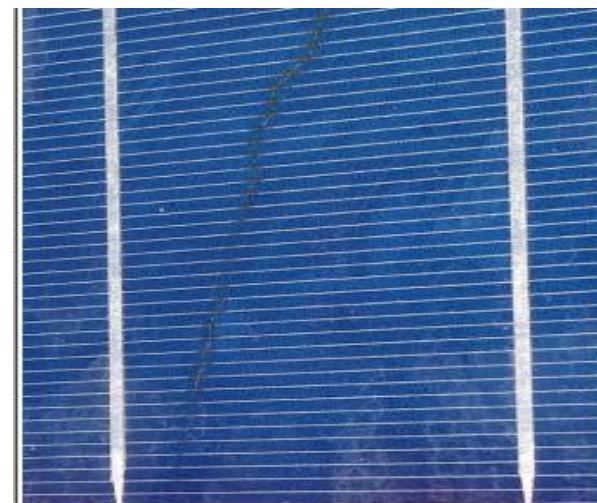
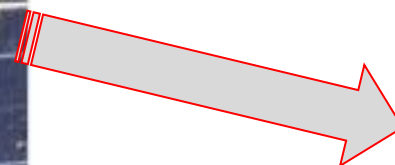
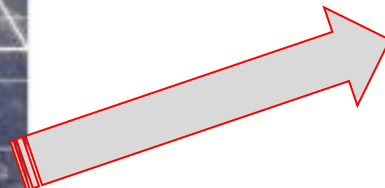
Nettoyage régulier des modules



Cellules encrassées ... courant diminué...

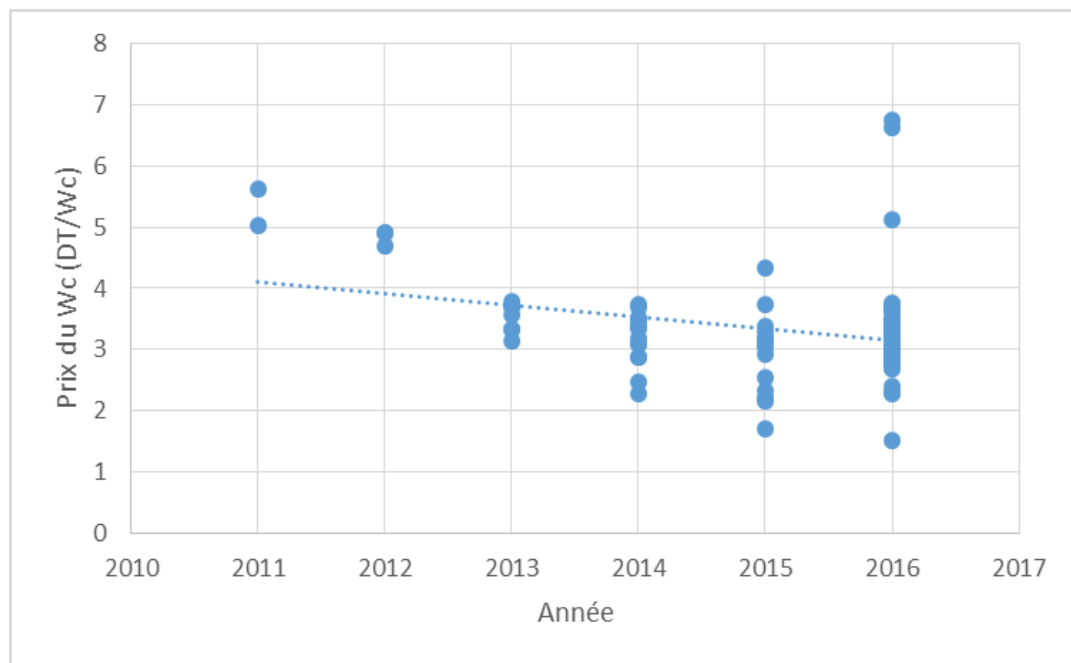


On ne marche pas sur les modules!!



- Echantillonnage
- Résultats de la campagne de mesures
 - * Cadre technique et législatif
 - * Points de contrôle et de mesures
 - * Performance énergétique
 - * Rentabilité économique
- Questionnaire clients
- Points de vigilance et recommandations

Prix du Wc

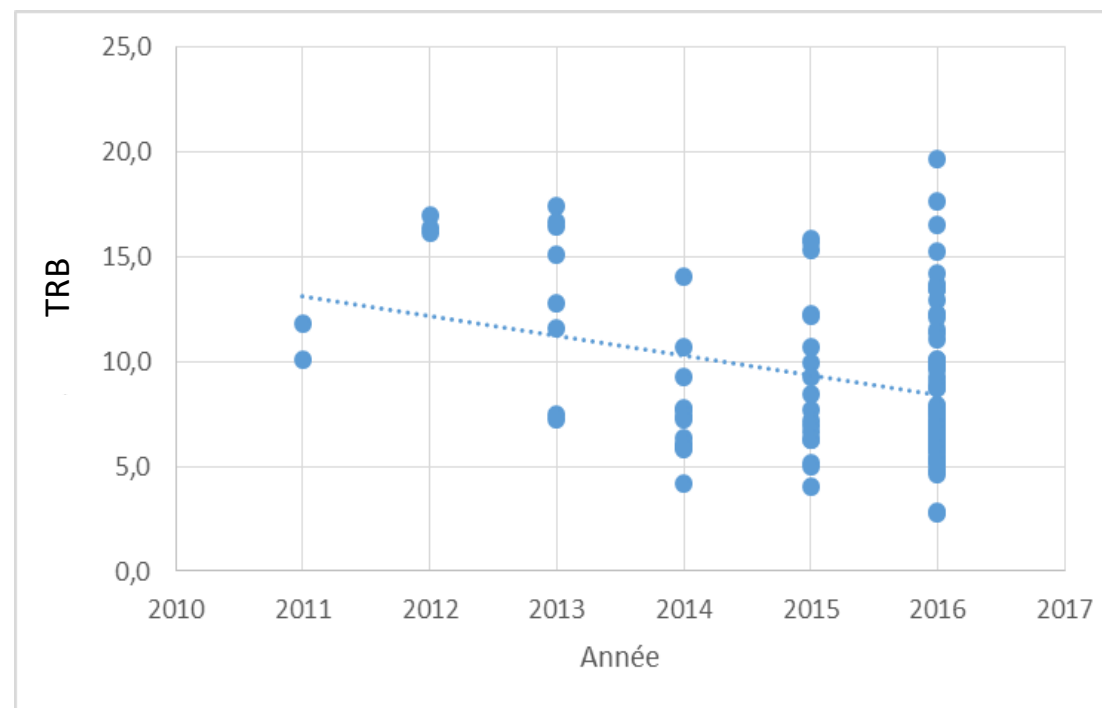


$$\text{prix (DT/Wc)} = \frac{\text{Investissement après subvention (DT)}}{\text{Puissance crête de l'installation (Wc)}}$$

Subvention comprise entre 20 et 30%

Temps de Retour Brut

Exprimer le retour sur
investissement d'un projet



$$TRB = \frac{\text{investissement après subvention (DT)}}{\text{énergie produite (kW h/a n)} * \text{tarif du kWh solaire (DT/kWh)}}$$

Prix du revient du kWh PV

Le prix du kWh produit par l'énergie solaire. S'il est inférieur au prix d'achat du kWh solaire, alors l'installation est rentable.

$$PR = \frac{I * (Ka + Km)}{Ea}$$

I: Investissement initial (DT)
Ea: énergie annuelle produite (kWh/an)
Kem: coût de la maintenance
Ka: coefficient d'actualisation
t: taux d'actualisation de l'argent(3,7%)
n: nombre d'années d'exploitation

Pour $n= 30$ ans

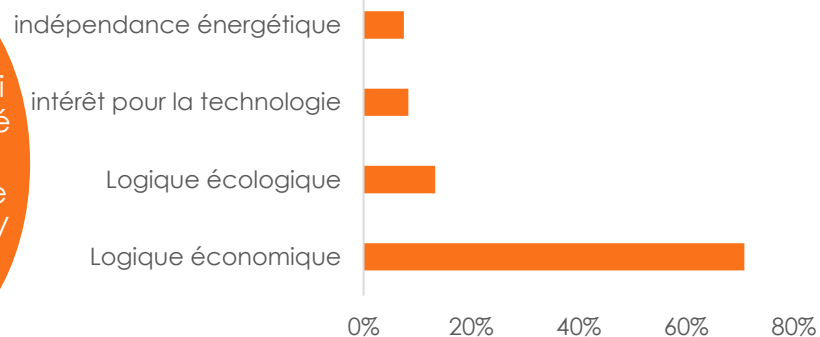
Tarif moyen du kWh solaire souscrit à la STEG (DT/kWh)	Prix de revient moyen du kWh solaire (DT/kWh)
0.260	0.200

$$Ka = \frac{t * (1 + t)^n}{(1 + t)^n - 1}$$

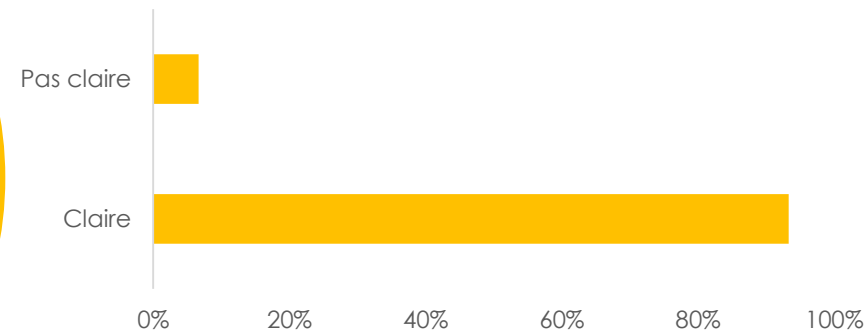
- Echantillonnage
- Résultats de la campagne de mesures
- Questionnaire clients
- Points de vigilance et recommandations



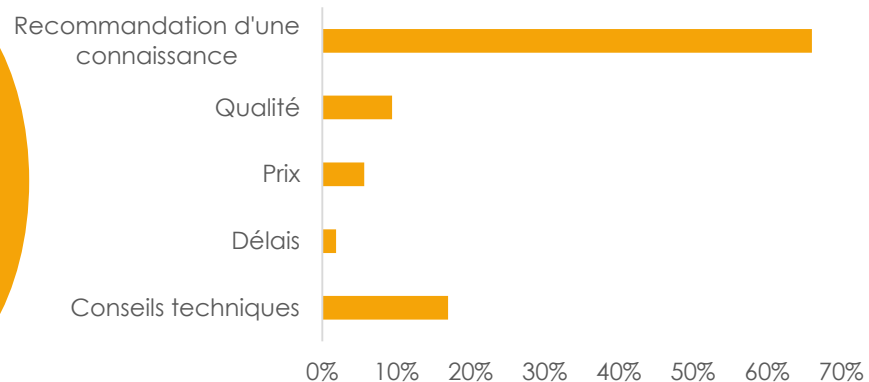
Qu'est ce qui vous a motivé pour mettre en place une installation PV ?



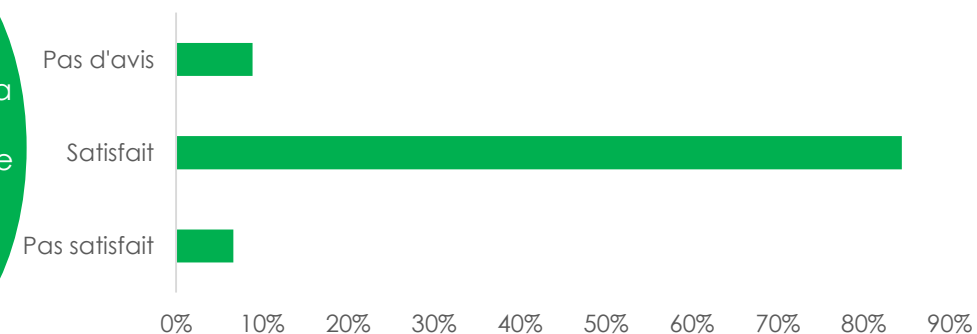
La communication avec votre installateur était-elle claire ?



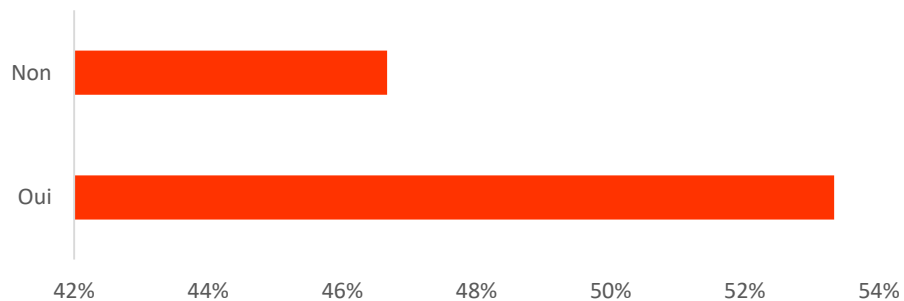
Comment avez-vous choisi votre installateur ?



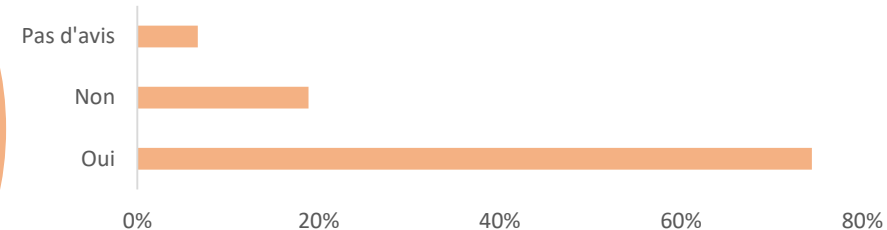
Etes vous satisfaits de la procédure administrative ?



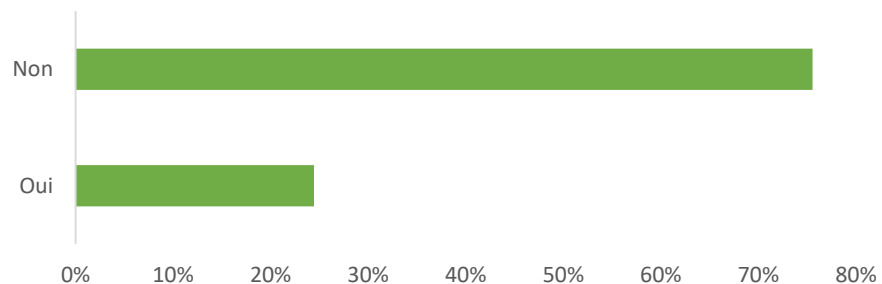
Faites-vous un
relevé régulier
de la
production?



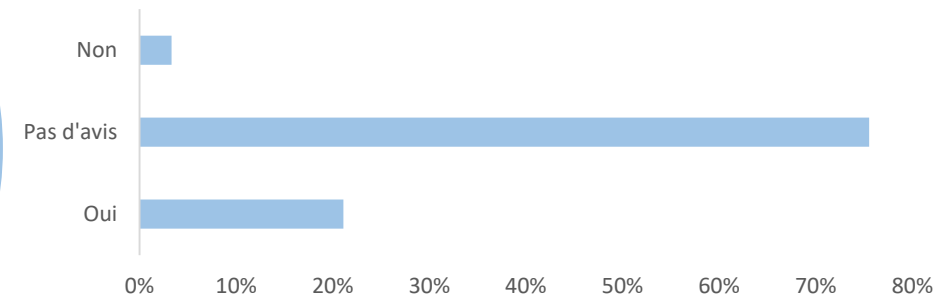
Etes vous
satisfaits de la
production ?



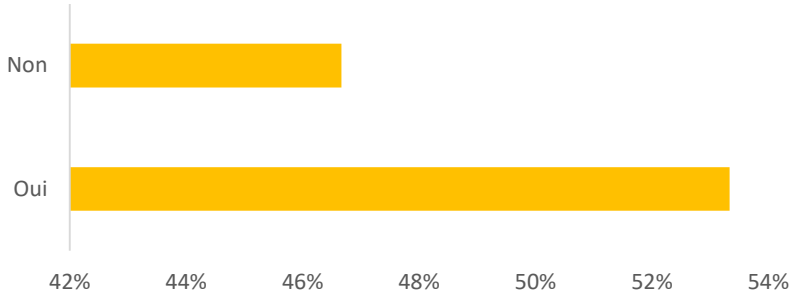
Connaissez-
vous la
rentabilité de
votre
installation?



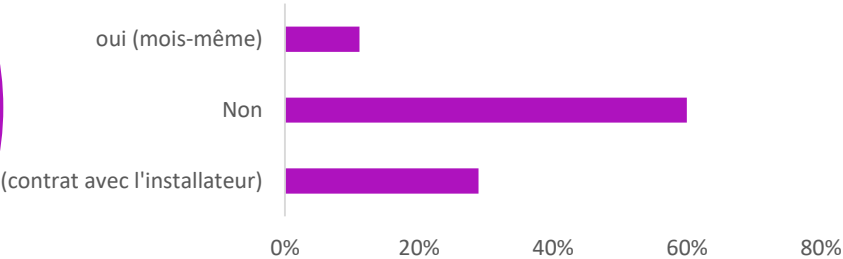
Etes vous
satisfaits de la
rentabilité?



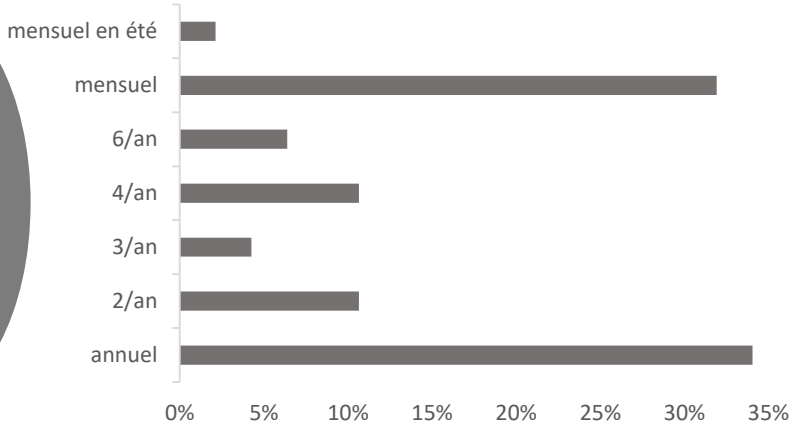
Nettoyez-vous les modules?



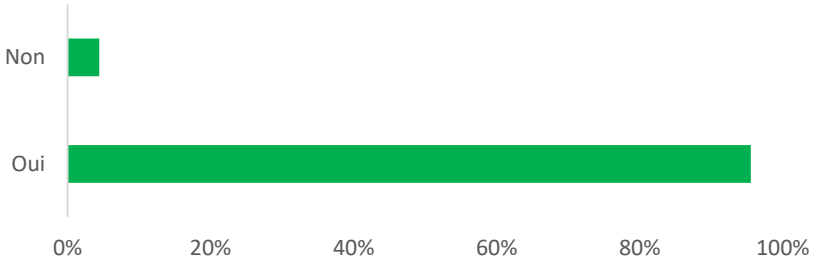
Faites-vous de la maintenance à votre installation?



A quelle fréquence nettoyez-vous les modules?



Recommanderiez-vous autour de vous de faire une installation PV?



- Echantillonnage
- Résultats de la campagne de mesures
- Questionnaire clients
- Points de vigilance et recommandations

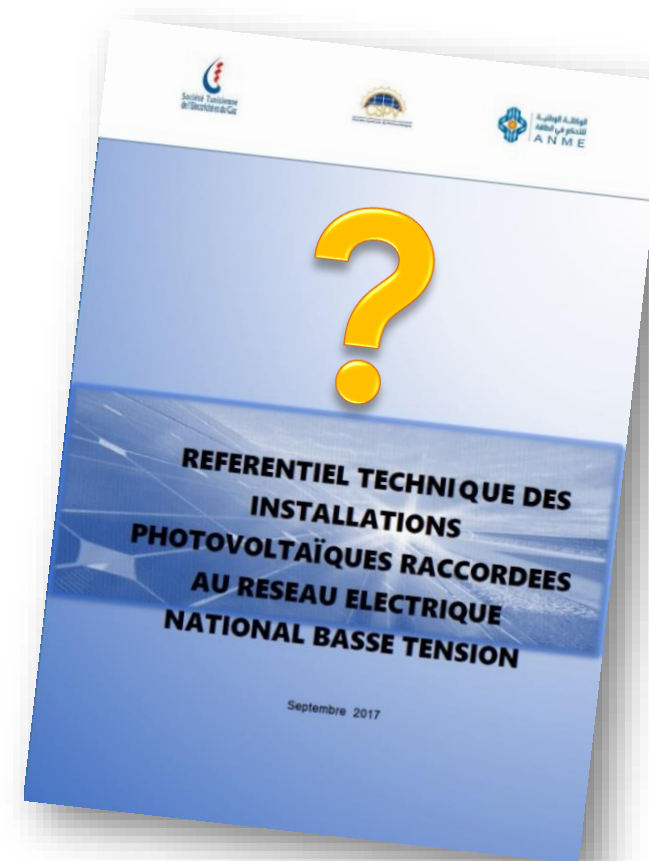
A l'installateur

- ▶ **Visite technique:**
 - ▶ Relevé de consommation pour une Pc adaptée
 - ▶ Bien prendre en compte ombrages et obstacles
 - ▶ Positionnement onduleur
 - ▶ Estimation du temps de retour client
- ▶ **Réalisation**
 - ▶ Boucle d'induction entre polarités et polarités et terre
 - ▶ Sertissage des connecteurs (et embouts) avec la VRAI pince homologuée
 - ▶ Privilégier connecteur à ressort
 - ▶ Respect des couleurs et au sens de câblage dans les coffrets AC et DC
 - ▶ Protection différentiel ET disjoncteur
 - ▶ Dossier technique pour client (caractéristique composant) schéma de câblage, plan d'implantation et câblage
 - ▶ Carnet de suivi pour client (production et intervention, instruction de sécurité, recommandations d'usage et d'entretien)
- ▶ **Informé le client**
 - ▶ Productible
 - ▶ Fonctionnement, de principe et composant,
 - ▶ Suivi de production (mensuel c'est bien, annuel c'est le minimum)
- ▶ **Maintenance**
 - ▶ Campagne de resserrage dans les 6 à 12 mois, vérification de la production /productible/consommation
 - ▶ Contrôle et analyse fonctionnements avant fin garantie produit (4-5ans)



A l'administration et au syndicat professionnel

- ▶ Définir des règles
 - ▶ Réalisables
 - ▶ Universelles
 - ▶ Précises
 - ▶ Opérationnelles
 - ▶ Equitables
 - ▶ Pertinentes
 - ▶ Obligation de moyens (pince à sertir)
- ▶ Traiter efficacement l'information
 - ▶ Sélectionner l'information pertinente
 - ▶ Mutualiser les bases de données entre les organismes
 - ▶ Améliorer le process continuellement
- ▶ Donner accès à l'information
- ▶ Contrôler l'application des préconisations et de la qualité in situ



Au contrôleur

- ▶ **Etude**
 - ▶ Pc adaptée à la consommation
 - ▶ Ombrages et obstacles évités ou intégrés à l'étude de productible
- ▶ **Installation**
 - ▶ Boucle d'induction entre polarités et polarités et terre
 - ▶ Sertissage des connecteurs de liaison (et embouts avec la VRAI pince homologuée)
 - ▶ Respect des couleurs et au sens de câblage dans les coffrets AC et DC
 - ▶ Protection différentiel ET disjoncteur
 - ▶ Dossier technique pour client (caractéristique composant) schéma de câblage, plan d'implantation et câblage
 - ▶ Carnet de suivi pour client (production et intervention, instruction de sécurité, recommandations d'usage et d'entretien)
 - ▶ Serrage des borniers à vis
- ▶ **Information du client**
 - ▶ Productible, performance attendue
 - ▶ Fonctionnement, de principe et composant,
- ▶ **Maintenance**
 - ▶ Campagne de resserrage dans les 6 à 12 mois, vérification de la production /productible/consommation
 - ▶ Contrôle et analyse fonctionnements avant fin garantie produit (4-5ans)



Au client

- ▶ Contrôle fréquent visuel du bon fonctionnement de l'onduleur
- ▶ Relevé mensuel de la production onduleur, (et idéalement injection E-, consommation E+)
- ▶ Remplir le dossier de suivi à chaque intervention
- ▶ Nettoyer les modules occasionnellement (selon possibilité/sécurité)

Recommandations 2015

Exemple fiche de suivi



Date Mise en service	Coordonnées installateur	Autres référence	Rappels d'intervention	Coordonnées base de données
Date	Production Onduleur 1	Compteur STEG P+	Compteur STEG P-	Observations
18/05/2015	1700	1500		
09/08/2015	2005	1800	1000	
08/09/2015	2120	1900	1200	Nettoyage
15/05/2018	7856	6892	1250	Production inférieur aux prévisions
			5000	Changement Fusible chaîne 2
				Code erreur 02-30%

© Maxime VALLIN - Tous droits réservés

47



MERCI DE VOTRE ATTENTION